

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Maradin

ANALIZA I VREDNOVANJE UNUTARNJE
BUKE HELIKOPTERA MI-8

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA I VREDNOVANJE UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA MI-8

ANALYSIS AND EVALUATION OF MI – 8 HELICOPTER INTERIOR NOISE

Mentor: prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Marko Maradin

JMBAG: 0135190465

Zagreb, rujan 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Problem istraživanja	1
1.2. Svrha i cilj istraživanja	2
2. TEORIJSKE OSNOVE	4
2.1. Zvuk i njegovo rasprostiranje	4
2.2. Akustički tlak, titrajna brzina i valna jednažba.....	5
2.3. Intenzitet zvuka i akustička snaga	6
2.4. Decibel	7
2.5. Razina zvuka.....	8
2.6. Zvučni spektar	8
2.7. Interferencija zvučnih valova i rezonancija kod zvuka	10
2.8. Buka.....	11
3. DJELOVANJE BUKE NA LJUDE	13
3.1. Uho i slušanje	13
3.2. Djelovanje buke na ljude	15
4. IZVORI I KARAKTERISTIKE BUKE	19
4.1. Izvori buke kod zrakoplova	19
4.2. Izvor buke kod helikoptera.....	19
4.3. Osnovne karakteristike helikoptera Mi -8 MTV-1.....	22
4.4. Izvor buke kod helikoptera Mi - 8 MTV-1.....	23
5. MJERE I POSTUPCI ZAŠTITE OD BUKE U HELIKOPTERU	28
5.1. Tehničke mjere zaštite od buke.....	28
5.2. Vrste sredstava za osobnu zaštitu sluha	29
5.3. Osobna zaštitna sredstva na helikopteru Mi - 8 MTV-1.....	31
5.3.1. Kaciga Gentex HGU-56/P	31
5.3.2. Slušalice GSS-A-18	32
5.3.3. Zaštitne slušalice Peltor – Optime 2.....	33
5.3.4. Čepići za uši	35
6. MJERENJE UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA Mi-8.....	36
6.1. Izvođenje mjerenja	36
6.2. Analizator zvuka Norsonic nor140	36
6.3. Režimi leta.....	38

7. ANALIZA REZULTATA I VREDNOVANJE UTJECAJA BUKE NA POSADU I PUTNIKE.....	40
7.1. Rezultati mjerenja.....	40
7.2. SIL indeks	56
7.3. SII indeks.....	59
8. ZAKLJUČAK.....	61
POPIS LITERATURE.....	63
POPIS SLIKA.....	64
POPIS TABLICA	66
POPIS GRAFOVA	67

SAŽETAK

Nakon subjektivne procjene da je buka helikoptera prekomjerna te da utječe na sigurnost letenja i zdravlje letačke posade, a do koje je došlo uslijed svakodnevnog obavljanja zadaća na helikopteru tipa Mi – 8 MTV-1, pristupa se detaljnijoj obradi teme unutarnje buke na spomenutoj letjelici u okviru diplomskog rada. Cilj je rada ustanoviti razmjere učinka buke temeljem provedenih mjerenja i analiza. Kao uvod u tematiku, prvi dio rada donosi teorijske osnove neophodne za pobliže upoznavanje s temom. Drugi dio rada opisuje specifičnosti helikoptera Mi – 8 MTV-1 – njegove karakteristike, izvore buke kod tog tipa letjelice te mjere zaštite. Za potrebnu analizu izvršena su mjerenja unutarnje kabinske buke na samom helikopteru u letu po unaprijed zadanim režimima. Analizom dobivenih rezultata ustanovljeno je ima li buka doista štetan utjecaj, odnosno je li subjektivna procjena prekomjernosti buke ispravna.

KLJUČNE RIJEČI

Vojno zrakoplovstvo, buka helikoptera, mjere zaštite od buke, režimi leta, akustički parametri

SUMMARY

After subjective estimation of helicopter noise as being rather excessive and having an impact on flight safety and health of the aircrew, brought in the course of daily operations on helicopter Mi – 8 MTV-1, the topic related to the internal noise on the aforementioned aircraft has been thoroughly developed within the MA thesis. The aim of the thesis is to establish to what extent is the impact of noise based on the noise measurements and their analysis. The first part of the thesis provides theoretical background necessary for the topic introduction. The second part describes specifications of helicopter Mi – 8 MTV-1 – its characteristics, noise sources and protection measures. The measurements of the helicopter interior noise levels during the flight have been performed, based on criteria previously set. The analysis of the results identified whether the noise has the negative impact indeed, i.e. whether the subjective estimation of noise excessiveness is justified.

KEYWORDS

Air Force; helicopter noise; noise protection measures; flight regimes; acoustic parameters

1. UVOD

1.1. Problem istraživanja

U današnje vrijeme kada se velika pažnja posvećuje zaštiti ljudskog zdravlja, jedan od glavnih ometajućih čimbenika u čovjekovu okruženju pa tako i u pilotskoj kabini jest buka. Kabinska buka je jedan od bitnih faktora koji utječu ne samo na putnike već i na članove posade i pilote. [13]

Utjecaj buke na pilote jako je bitan iz razloga jer dugotrajna izloženost zvuku od 85 dBA i više s vremenom može dovesti do oštećenja sluha, a također može dovesti i do nerazumijevanja u komunikaciji između posade zrakoplova. Za razliku od vanjske buke koja je točno definirana i standardizirana međunarodnim propisima, unutarnja kabinska buka još nije posebno standardizirana. [13]

Tema ovog diplomskog rada je kabinska buka helikoptera Mi – 8. Nakon višegodišnjeg iskustva letenja na tom tipu helikoptera te subjektivnog dojma o prekomjernoj buci javila se ideja i želja o znanstvenom pristupu temi. Piloti ovog tipa helikoptera, s obzirom da obavljaju zadaće hitnog medicinskog prijevoza, traganja i spašavanja, gašenja požara, prijevoza vatrogasaca i opreme, transporta vanjskog i unutarnjeg tereta te još čitav niz vojnih zadaća, tijekom cijelog dana i noći (24h) izloženi su buci. To je posebno izraženo tijekom ljetnog perioda kada se leti gotovo svakodnevno zbog povećanja broja zadaća (turizam, požari, povoljna meteorološka situacija i dr.). Najveći problemi se javljaju prilikom spuštanja vanjskog tereta kada tehničar letač vidi iza i ispod helikoptera te komunikacijom navodi pilota što da radi, a opterećenje helikoptera je blizu maksimalne vrijednosti. Zbog specifičnosti zadaća na ovom tipu zrakoplova bitno je da je razina buke i utjecaj na posadu što manji, kako zbog toga što izravno utječe na sigurnost letenja tako i zbog utjecaja na zdravlje same posade.

Za potrebe diplomskog rada organiziran je let na helikopteru Mi -8 MTV-1 u vojarni Knez Trpimir Divulje te je zvukomjerom izmjerena buka za određene režime leta koja je prikazana u poglavlju „Analiza rezultata i vrednovanje utjecaja buke na posadu i putnike“. Prikazani su rezultati dobiveni temeljem mjerenja i istraživanja te je analizom istih određeno u kojim je granicama izmjerena buka i je li ona prihvatljiva.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je prikupiti sve potrebne podatke, odraditi određena mjerenja za pojedine režime leta te doći do rezultata koji će pokazati je li unutarnja buka štetna za posadu te koliko ona utječe na razumljivost u komunikaciji. Samo mjerenje buke će se izvršiti Norsonic nor140 zvukomjerom te će se koristiti A-ponderirana i oktavno-pojasna metoda mjerenja. Na temelju dobivenih rezultata procijenit će se razumljivost govora u kabini. [13]

1.3. Dosadašnja istraživanja i očekivani rezultati

Dosadašnja istraživanja na temu mjerenja buke, kako vanjske tako i unutarnje provedena su na raznim tipovima letjelica. Veći broj mjerenja buke na civilnim zrakoplovima tipa Diamond DV20, Airbus A319, DASH, itd. odradena su od strane profesora, asistenata i studenata Fakulteta prometnih znanosti. Mjerenja buke na vojnim zrakoplovima odradena su od strane studenata-kadeta i pilota koji su mjerenja radili za potrebe diplomskih radova (Pilatus PC-9M, Zlin242 L, CL-415) te su kroz te radove prikazani rezultati i analize mjerenja i predložene potrebne mjere redukcije i smanjenja buke. [13]

Za helikopter tipa Mi – 8 dosada nisu rađena nikakva istraživanja na temu mjerenja buke, bilo vanjske ili unutarnje. Ovim radom upotpunit će se baza podataka o mjerenjima buke zrakoplova s još jednim tipom letjelice, što bi omogućilo usporedbu s ostalim letjelicama i u budućnosti moglo pomoći u standardiziranju unutarnje buke zrakoplova.

1.4. Struktura rada

Rad se sastoji od 8 sadržajnih cjelina, tj. poglavlja. U prvom poglavlju, odnosno *uvodnom poglavlju*, postavljen je problem istraživanja, ciljevi i svrha istraživanja te je predstavljena struktura rada.

Drugo poglavlje pod nazivom *Teorijske osnove* donosi teorijski pregled pojmova i veličina vezanih uz buku i zvuk te pregled pojedinih zvučnih vrijednosti.

Treće poglavlje pod nazivom *Djelovanje buke na ljude* donosi opis uha kao organa sluha, način na koji čovjek čuje te utjecaj buke na ljude i njegove posljedice.

Četvrto poglavlje pod nazivom *Izvori i karakteristike buke* donosi opis izvora buke kod zrakoplova, specifičnosti helikopterskih izvora buke za razliku od aviona te pregled izvora buke na helikopteru Mi – 8 MTV-1.

Peto poglavlje pod nazivom *Mjere i postupci zaštite od buke u helikopteru Mi-8* donosi pregled tehničkih mjera zaštite od buke koje se instaliraju na samom zrakoplovu, teoretskih osobnih mjera zaštite od buke te svih trenutno primijenjenih osobnih zaštitnih sredstava na helikopteru Mi - 8 MTV-1 u OSRH.

Šesto poglavlje pod nazivom *Mjerenje unutarnje buke helikoptera* donosi opis samog mjerenja na helikopteru, od opisa uvjeta preko zvukomjera do opisa režima letenja u kojima je izvršeno mjerenje.

Sedmo poglavlje pod nazivom *Analiza rezultata i vrednovanje utjecaja buke na posadu i putnike*, koje je ujedno i glavno poglavlje, donosi rezultate mjerenja obavljenih na samom helikopteru, daje nam pregled razine buke pri određenim režimima leta u tabličnim i grafičkim prikazima te nam također donosi rezultate proračuna SIL i SII indeksa.

Osmo poglavlje donosi *zaključak* kao objašnjenje istraživanja provedenih u ovom radu.

2. TEORIJSKE OSNOVE

2.1. Zvuk i njegovo rasprostiranje

Pod zvukom se podrazumijeva onaj dio mehaničkog valnog gibanja koji se osjeća sluhom i čija frekvencija leži u rasponu čujnosti ljudskog uha, tj. u području od 16 – 20 000 Hz. Valno gibanje s frekvencijom višom od 20 000 Hz spada u oblast ultrazvuka, a valno gibanje ispod 16 Hz u oblast infrazvuka.

Osnovna osobina valova je da se šire, pri čemu dolazi do prijenosa energije. Nastanak valova je uvjetovan pokretom čestica u okolini. Ovisno o tome kreću li se čestice u sredini okomito na pravac rasprostiranja valova ili u pravcu rasprostiranja valova, razlikuje se poprečno i uzdužno valno gibanje. Poprečno (transverzalno) valno gibanje može se rasprostirati samo u čvrstoj sredini, a uzdužno (longitudinalno) može se rasprostirati u čvrstoj, tekućoj i plinskoj sredini. Zvuk se rasprostire isključivo uzdužno.

Brzina rasprostiranja vala je osnovna veličina koja karakterizira rasprostiranje i ovisna je o gustoći i elastičnim osobinama sredine. Za plinsku sredinu, koja je u ovom slučaju najvažnija, brzina rasprostiranja vala c računa se pomoću formule (1):

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}} \quad (1)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

γ – izentropski koeficijent (za zrak 1.4)

p – barometarski tlak

ρ – gustoća zraka

Gornji izraz se može urediti u odnos (2):

$$c = 20,5\sqrt{t + 273} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

gdje je:

t – temperatura [°C]

Na sobnoj temperaturi brzina zvuka je oko 340 m/s.

Karakteristična veličina sinusno promjenjivog valnog gibanja je valna duljina λ . Može se predstaviti kao najbliža udaljenost dviju točaka koje se mjere u pravcu širenja valova, koji titraju istom fazom, ili kao udaljenost koju val prevali za vrijeme jednog titraja, a izračunava se pomoću sljedeće formule (3).

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} [m] \quad (3)$$

gdje su c brzina rasprostiranja zvučnog vala u m/s, a f frekvencija u Hz.

Kada dođe do uzbude u nekom centru sredine, val se rasprostire iz tog mjesta u homogenoj izotropnoj sredini u svim pravcima istom brzinom.

Pod valnom površinom podrazumijevaju se sva mjesta do kojih val dopire za isto vrijeme, što znači da sve točke valne površine titraju istom fazom. Kod izvora zvuka značajne su kuglaste i ravne površine. Kod kuglastih površina širi se zvuk u obliku koncentričnih kugli iz točkastog izvora, za koji se smatra da je onaj izvor energije čije su dimenzije znatno manje od valne dužine isijavanog zvuka. Za ravne valne površine najčešće se smatraju kuglaste površine na velikoj udaljenosti od izvora, jer strogo uzeto u prirodi se ne javljaju.

2.2. Akustički tlak, titrajna brzina i valna jednadžba

Prilikom širenja valova u plinskoj sredini dolazi do zgušnjavanja i razrjeđivanja čestica kao posljedica promjene tlaka. Kada se zvuk širi plinom superponira se na barometarski tlak (koji se smatra konstantnim), vremenski nepromjenjiv, i tako nastali tlak naziva se akustički tlak, koji je praktično jedina veličina zvučnog polja koja se može direktno mjeriti. Jedinica akustičnog tlaka je Pascal.

Brzina kojom titraju čestice sredine oko svojih ravnotežnih položaja naziva se titrajna brzina. Ona nije konstantna, već se mijenja od minimalne (negativne) do neke maksimalne (pozitivne) vrijednosti. Titrajna brzina se ne smije zamijeniti s brzinom zvuka koja je za određene sredine stalna.

Valna jednadžba koja izražava opći odnos za širenje valnog gibanja glasi (4):

$$\frac{\sigma^2 \phi}{\sigma x^2} + \frac{\sigma^2 \phi}{\sigma y^2} + \frac{\sigma^2 \phi}{\sigma z^2} = \frac{1}{c} \frac{\sigma^2 \phi}{\sigma f^2} \quad (4)$$

\emptyset je brzinski potencijal, pomoćna veličina iz koje se može izračunati akustički tlak p i titrajna brzina v iz odnosa (5):

$$p = -\rho \frac{\sigma \emptyset}{\sigma t} i \quad (5)$$

$$v = \text{grad} \emptyset$$

Rješenjem valne jednadžbe za ravne valove dobije se sljedeći izraz (6):

$$\frac{p}{v} = \rho \cdot v, \text{ odnosno} \quad (6)$$

$$p = \rho \cdot c \cdot v$$

gdje je:

ρ – gustoća zraka

c – brzina zvuka

Umnožak gustoće zraka i brzine zvuka, dakle ρc naziva se specifičnim akustičnim otporom ili valnim otporom sredine koji za zrak, pri normalnim uvjetima, ima vrijednost 410 Ns/m³.

2.3. Intenzitet zvuka i akustička snaga

Zvučnim valnim gibanjem brzinom zvuka se prenosi kinetička energija koja je proporcionalna kvadratu titrajne brzine, dok je potencijalna energija proporcionalna kvadratu zvučnog tlaka. Mjerilo prenošenja energije je intenzitet zvuka, koji je dan energijom koja prođe kroz jedinicu površine okomite na pravac širenja zvuka za jedinicu vremena.

Intenzitet zvuka I izražava se pomoću formule (7):

$$I = p \cdot v \quad (7)$$

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

Zvučna energija, koja u jedinici sekunde prostruji kroz plohu veličine S koja je okomita na smjer kojim se širi zvuk, naziva se zvučnom snagom P , i izražava se pomoću formule (8):

$$P = S \cdot p \cdot v = S \cdot \frac{p^2}{\rho c} \quad (8)$$

Za zrak, tlaka izraženog u mikrobarima dobije se formula (9):

$$P = 2,44 \cdot 10^{-5} * p^2 [W] \quad (9)$$

Primjeri zvučne snage nekih izvora prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti zvučne snaga nekih izvora

Zvučni izvor	Jakost	Snaga [W]
ljudski glas	maksimalna jačina	$2 * 10^{-3}$
ljudski glas	normalan razgovor	$7 * 10^{-6}$
klavir	fortissimo	$2 * 10^{-1}$
truba	fortissimo	$3 * 10^{-1}$
bubanj	fortissimo	10
običan zvučnik	srednje snage	15
veliki zvučnik	najveće snage	10^2

Izvor: [2]

2.4. Decibel

Najvažnija od svih veličina je intenzitet zvuka koji izražava jačinu zvuka. Raspon intenziteta zvuka u praksi je $10^{12} : 1$ (maksimalna i minimalna jačina zvuka).

Ovakav omjer izračunavanja intenziteta i zvučnih tlakova bio bi težak i neprikladan za praktičnu primjenu, pa je radi toga prihvaćen logaritamski način izražavanja koji daje znatno manje raspone. Izražavanje jačine zvuka u logaritamskom mjerilu odgovara također načinu registriranja zvuka sluhom. Prema Weber – Fechnerovom psihološkom zakonu jačina osjećaja razmjerna je logaritmu podražaja koji izaziva osjećaj.

Logaritamski odnos dviju snaga izražava se u Belima, međutim, radi praktičnih razloga prihvatljivija je deset puta manja jedinica od Bela, a to je decibel [dB], koji se za zvučne tlakove izražava formulom (10):

$$L = 20 \log \frac{p_1}{p_2} \quad (10)$$

Decibel je relativna mjera jer predstavlja odnos dvaju istovrsnih veličina, u ovom slučaju tlakova. Odnos zvučnih tlakova od $10^{12} : 1$ iznosi 120 dB, što je znatno prihvatljivije za praktičnu primjenu.

2.5. Razina zvuka

Istraživanja pokazuju da je granica osjetljivosti (prag čujnosti) za prosječnog čovjeka 0,00002 Pa (na 1000Hz). Slabiji zvuk se ne može osjetiti. Prag bola ili maksimalni zvuk, tako intenzivan da čovječje uho može biti oštećeno za kratko vrijeme, je 20 Pa. Koliko su to mali tlakovi, a čovječje uho osjetljivo, pokazuje podatak za atmosferski tlak koji iznosi oko 1 bar odnosno 100000 Pa.

Međunarodnim dogovorom akustičara utvrđeno je da referentni zvučni tlak bude $2 \cdot 10^{-5}$ Pa ($20 \cdot 10^{-4} \mu$ bara ili $20 \mu N/m^2$ ili $20 \mu Pa$). Za izbor referentnih razina uzeti su zvučni tlak i zvučni intenzitet na pragu čujnosti mladog čovjeka zdravog sluha, i to na frekvenciji od 1000 Hz. Zvučni referentni tlak od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa i referentni zvučni intenzitet od $10^{-12} W/m^2$ su nulte razine tlaka i intenziteta.

Jednadžba zvučnog tlaka na osnovu izloženog glasi (11):

$$L_p = 20 \log \frac{p [Pa]}{2 \cdot 10^{-5}} [dB] \quad (11)$$

Razina zvučnog intenziteta izračunava se na temelju jednadžbe (12):

$$L_i = 10 \log \frac{I [W/m^2]}{10^{-12}} [dB] \quad (12)$$

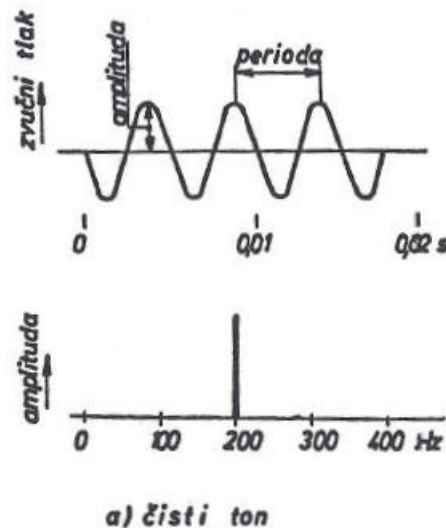
2.6. Zvučni spektar

Da bi se proučio neki složeni zvuk koji nastaje u prirodi potrebno je poznavati spektralnu gustoću efektivnih vrijednosti zvučnog tlaka na pojedinim frekvencijama, a to znači analizu zvučnog spektra.

Na osnovu oblika zvučnog spektra zvukovi se dijele na tri vrste, i to:

a) Čisti ton

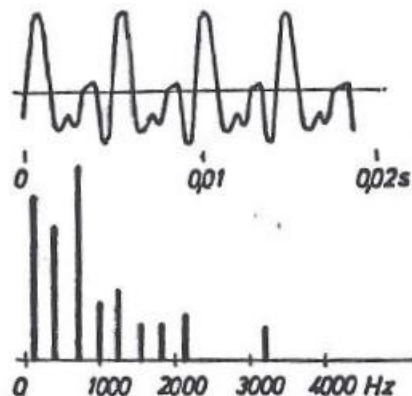
To je jednostavno sinusno titranje koje se prikazuje u obliku jedne linije na stanovitoj frekvenciji, kao što je prikazano na Slici 1. Sinusni zvukovi čistog tona u prirodi se samostalno ne pojavljuju, ali se u elektronici često upotrebljavaju za mjerne svrhe.



Slika 1. Čisti ton [2]

b) Glazbeni ton

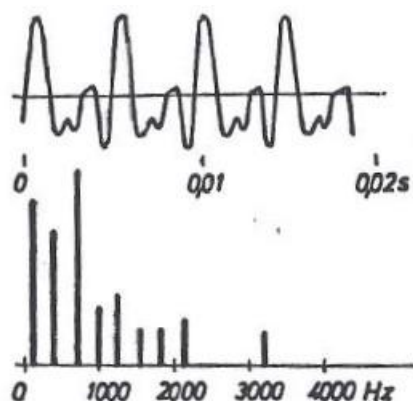
Kombinacija glazbenih tonova sastoji se od osnovnog tona, kao i iz većeg ili manjeg broja harmoničnih tonova (nadvalova), koji su uvijek cjelobrojni višekratnici osnovnog tona, Slika 2. Visina tona koji se čuje određuje osnovni ton, čija amplituda ne mora uvijek biti veća od onih koji imaju druge komponente.



Slika 2. Glazbeni ton [2]

c) Šum

Šum je nepravilno titranje u kojem nema ni stalnih amplituda niti stalnih frekvencija, kao na Slici 3. Spektar šuma je kontinuiran, a ne linijski. To znači da pojedini tonovi ispunjavaju gusto, cijelo frekventno područje. Karakteristična vrsta šuma je prasak, koji je veoma kratkotrajna zvučna pojava velike snage i strmog uspona.



Slika 3. Šum [2]

2.7. Interferencija zvučnih valova i rezonancija kod zvuka

Interferencija je karakteristična pojava kod svih vrsta valnog gibanja u mediju, pa tako i kod zvuka. Interferenciju shvaćamo na način da, ako se u prostoru sretnu dva ili više valova jednakih frekvencija, na mjestu dodira valova nastaje novi val. Taj val odgovara valu koji nastaje zbrajanjem elongacija svih pojedinačnih valova što se sijeku u toj točki prostora. Također možemo reći da je interferencija fenomen koji se pojavljuje kad se dva vala susretnu putujući kroz isti medij, pri čemu je posljedica drugačiji raspored energije, odnosno zvučnog tlaka

Rezonancija je pojava kada na neki sustav, koji može titrati nekom svojom frekvencijom (tzv. vlastita frekvencija), djeluje sila čija je frekvencija upravo jednaka vlastitoj frekvenciji sustava, tj. mogla bi se objasniti i kao pojava koja nastaje kod sustava koji prisilno titra kada se pri određenoj frekvenciji pobude postiže maksimalna amplituda titranja. Rezonancija je karakteristična pojava kod svih mehaničkih oscilacija, a naročito kod zvuka.

2.8. Buka

Kako su zvuk i buka zapravo iste stvari koje su razdvojene isključivo na temelju subjektivnog doživljaja, sve definicije koje vrijede za zvuk vrijede i za buku osim što buka u užem smislu znači zvuk jakog intenziteta. Ipak, zvuk ne mora biti jakog intenziteta da se svrsta u buku.

Buka je svaki zvuk koji je nepoželjan i koji nas ometa u postizanju nekog zadanog cilja. Ta definicija, iako nije precizna, na najprihvatljiviji način opisuje sve vrste buke. U današnje vrijeme je teško naći mjesto u urbanim sredinama a da u blizini nema nikakvih izvora buke. Buka ne samo što iritira ljude u njihovom odmoru već i utječe na ljudsko zdravlje, ometa koncentraciju i san. Buka izaziva smetnje kardiovaskularnog i imunološkog sustava, povišen krvni tlak, tjeskobu i depresiju.

Buka se može podijeliti na izravnu i neizravnu. Izravna ili direktna buka određena je intenzitetom izvora i njegovom udaljenošću, dok neizravna buka ovisi o koeficijentima refleksije poda, zidova, stropa te o poziciji takvih izvora. Razina buke mjeri se u decibelima. Zbog načina na koji funkcionira ljudsko uho, čovjek može zamijetiti minimalnu razliku u nivou buke u iznosu oko 1 dB.

Osnovne karakteristike buke su:

1. **Razina buke** - Kao što je navedeno, decibel je jedinica za mjerenje intenziteta zvuka. Tihi zvukovi nemaju štetnih utjecaja na čovjeka, dok vrlo glasni zvukovi mogu uzrokovati bol u ušima te razne druge štetne posljedice. Između te dvije razine zvuka nalazi se spektar zvukova kojima je čovjek svakodnevno izložen.

2. **Trajanje buke** - Štetan utjecaj buke proporcionalan je njenom trajanju. Što je duže osoba izložena buci, to je veća vjerojatnost pojave štetnih posljedica za zdravlje.

3. **Vrsta buke** - Postoje različiti tipovi buke ovisno o njihovoj karakteristici;

- **Isprekidana buka** je ona kod koje se razina zvuka naglo poveća i naglo smanji. Primjer za ovakav tip buke je prolaz jednog vozila ili zrakoplova pored slušatelja. Za svaki ciklus rada stroja kao izvora zvuka, razina zvuka se može izmjeriti isto kao i za kontinuirani zvuk. Razlika u ovom mjerenju jest ta da se ciklus trajanja mora zabilježiti. Svako pojedino prolaženje vozila ili zrakoplova shvaća se kao jedan

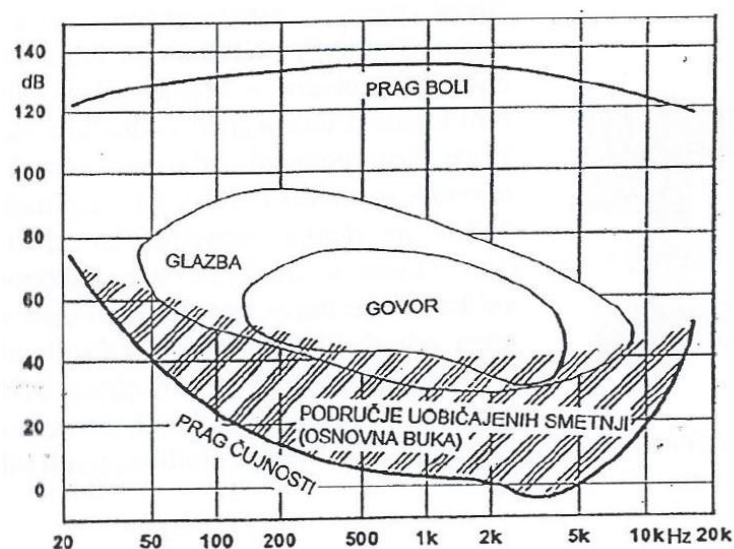
događaj. Za mjerenje jednoga događaja mjeri se Sound Exposure Level (SEL), kombinirani nivo zvuka i trajanja.

- **Neisprekidanom bukom** možemo nazvati onaj zvuk koji stvara stroj koji radi bez prekida u istom stupnju te sa istom jačinom zvuka, npr. pumpa i strojevi za obradu. Ako se čuju tonovi ili niske frekvencije, frekvencijski spektar može se mjeriti za dokumentaciju ili daljnje analize.
- **Impulsna buka** je ona koja se dogodi iznenada i kratkog je trajanja kao npr. eksplozija ili pucanj. Taj zvuk je kratak i jak te stvara veću buku od one koja bi se očekivala. Kod pucnjave se očekuje velika buka, ali možda ne i vrlo visoke vršne razine zvučnog tlaka koje kod petarde na udaljenosti 1 metar od nje mogu iznositi i preko 160 dB. Za kvantificiranje impulsnog zvuka može se koristiti razlika između brze i spore vremenske konstante integracije.
- **Varirajuća buka** je zvuk koji može biti trajan ili isprekidan. To su takozvani „dosadni zvukovi“ koji mogu biti stvoreni na nekoliko načina, npr. da ga stvori stroj sa rotirajućim dijelovima kao što je motor i/ili ventilator. Neuravnoteženi i ponavljajući udarci stvaraju vibracije koje se šire zrakom i čuju se kao tonovi. Pulsirajuća tekućina ili plin također mogu stvoriti tonove. Tonovi se mogu određivati subjektivnim ili objektivnim slušanjem koristeći frekvencijsku analizu.

3. DJELOVANJE BUKE NA LJUDE

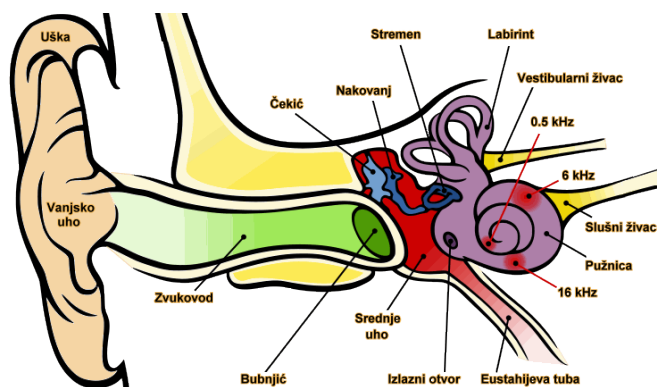
3.1. Uho i slušanje

Uho je prijamnik zvuka koji akustičku energiju pretvara u bioelektričnu. Ono je ujedno i vrlo selektivan akustički analizator, određivač smjera zvučnog izvora te indikator glasnoće, visine i boje tona. Područje frekvencija koje uho čuje obuhvaća više od deset oktava. Omjer između najvećeg zvučnog tlaka kojeg uho može podnijeti i onog koji tek što može zamijetiti iznosi $1 : 10^6$. U području svoje najveće osjetljivosti uho reagira na zvučni tlak koji izaziva titranje bubnjića amplitudom koja je jednaka jednoj desetini promjera najmanjeg atoma, tj. amplitudom manjom od 10^{-11} m. Na Slici 4. ilustrirano je slušno područje ljudskog uha.



Slika 4. Slušno područje ljudskog uha [3]

Slušni organ u čovjeka dijeli se na tri glavna dijela: vanjsko, srednje i unutrašnje uho kao što je prikazano na Slici 5.



Slika 5. Ljudsko uho – sustav slušnog mehanizma čovjeka [14]

Vanjsko uho se sastoji od uške ili ušne školjke, slušnog kanala (ili zvukovoda) i bubnjića. Uška i zvučni kanal čine lijevak koji na srednjim i visokim frekvencijama pojačava zvuk. Na višim frekvencijama uška omogućuje usmjereno slušanje ako zvuk dolazi s prednje strane.

Rezonancijska je frekvencija zvukovoda oko 3,5 kHz, pa se u tom području dobiva pojačanje zvučnog tlaka za oko 10 dB. Bubnjić je epileptična membrana u obliku plitkog lijevka. Rezonancijska frekvencija bubnjića zajedno sa slušnim košćicama srednjeg uha je između 1,2 i 1,4 kHz. Bubnjić je u području oko 800 Hz gotovo idealan prijemnik zvuka jer se zvučni valovi praktički ne reflektiraju.

U prostoru srednjeg uha nalaze se slušne košćice. Slušne su košćice polužno-stapni sustav koji omogućuje što potpuniji prijenos zvučne energije unutrašnjem uhu. Prva sušna košćica, čekić, spojena je sa sredinom bubnjića. Gibanje čekića prenosi se na tzv. nakovanj, s kojim je povezana treća košćica u obliku stremena, pa se tako i zove. Stremen je pričvršćen na ovalni prozorčić unutrašnjeg uha.

Prostor srednjeg uha spojen je s usnom šupljinom Eustachijevom cijevi. Duljina te cijevi je oko 3 cm. U normalnom položaju, za vrijeme mirovanja, Eustachijeva cijev je zatvorena. Ona se otvara dok se žvače, guta ili zijeve. Osnovna funkcija te cijevi je ventiliranje srednjeg uha i održavanje jednakog tlaka zraka s obje strane bubnjića.

Odnos mehaničke transformacije srednjeg uha ne ovisi samo o frekvenciji nego i o zvučnom tlaku. To je postignuto s pomoću dvaju mišića u srednjem uhu, koji prilagođavaju uho u procesu slušanja, a na srednjim i većim glasnoćama mijenjaju omjer prijena zvuka. Osim te prilagodbe, uho ima sposobnost koja se pojavljuje u živčanom sustavu, a rezultira zamorom.

Unutrašnje uho ili labirint sastoji se od triju glavnih dijelova: polukružnih kanala, predvorja i pužnice. Polukružni kanali služe za osjet ravnoteže, a ne sluha. Predvorje je ispred polukružnih kanala i pužnice.

Pužnica je najsloženiji organ u cijelom tijelu. Ona je po obliku cijev savijena u spiralu s dva i pol ili dva i tri četvrtine zavoja. Duljina joj je nešto veća od 3 cm. Unutra se nalazi vrlo osjetljiv slušni organ – Cortijev organ, koji s pomoću osjetljivih cilijarnih stanica zvučnu energiju pretvara u bioelektričnu. Stvoreni bioelektrični signali podražuju slušni živac, koji povezuje uho sa centralnim živčanim sustavom. Iako unutrašnje uho nema visoku frekvencijsku selektivnost, slušna je analizatorska sposobnost velika. To se tumači

specifičnim djelovanjem određenih aferentnih živčanih niti, koje mogu obavljati frekvencijsku selekciju, kao i djelovanjem povratne veze od centralnog živčanog sustava pomoću eferentnih živčanih niti.

3.2. Djelovanje buke na ljude

Uobičajena je podjela djelovanja buke na ljude na:

- Djelovanje buke na osjetilo sluha (auralno djelovanje)
- Djelovanje buke s posljedicom na cijeli organizam (ekstraauralno djelovanje)

Ta je podjela s medicinskog gledanja sporna. Buka u suštini uvijek djeluje primarno auralno, a ekstraauralne pojave mogu biti samo neizravne posljedice buke. U slučajevima samog ekstraauralnog djelovanja štetni se utjecaj prenosi na čovjeka drugim osjetnim sustavima. To se događa primjerice pod utjecajem vrlo jakih vibracija i, primarno i sekundarno, infrazvuka i ultrazvuka. Takvo stajalište temelji se na spoznaji da slušni put u centralnom živčanom sustavu ima niz spojeva s deset sinapsa i održava brojne asocijativne veze s ostalim moždanim strukturama i autonomnim živčanim sustavom. Iz tih veza proizlaze onda gotovo sve ekstraauralne smetnje.

Auralno djelovanje izražava se preko izravnog oštećenja slušnog organa i time sluha. Kada je riječ o dugotrajnom djelovanju buke, imamo trajna ireparabilna oštećenja. Granica za zaštitu organa sluha za osam satno dnevno izlaganje je 85 dBA do 90 dBA. Iznad te razine mogu se očekivati manja ili veća oštećenja sluha. No, pri djelovanju pucnjeva ili eksplozija nastaje akutno manje ili veće oštećenje u unutrašnjem uhu i čak mehaničko oštećenje bubnjića i slušnih košćica zbog moguće superpozicije jakih zračnih valova.

Dvije su mogućnosti nastajanja naglušosti ili gubitka sluha – konduktivna i perceptivna naglušost. Prvi je uzrok prekid prijenosa zvučnih podražaja do senzoričkog receptora u unutrašnjem uhu, a nastaje zatvaranjem zvukovoda ili mehaničkom nepokretljivošću bubnjića i slušnih košćica. Pri tome najveći gubitak sluha ne premašuje 55 dB. Perceptivna naglušost posljedica je degeneracije cilijarnih stanica Cortijeva organa i, u krajnjem nastavku, u patologiji slušnog živca i strukturi centralnog živčanog sustava.

Ekstraauralne posljedice izražavaju se:

- Utjecajem na organe i tjelesne sustave (npr. živčani sustav, krvožilni sustav, probavni trakt, hormonski sustav);
- Utjecajem na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje posla (na umni rad, koncentraciju, pozornost, zapažanje zvučnih signala, govorno sporazumijevanje, odmor, san).

Tako buka, osim na organ sluha, djeluje podraživanjem simpatičkog dijela čovjekova autonomnog živčanog sustava (simpatikusa), dakle, onog dijela središnjeg živčanog sustava koji upravlja važnim životnim funkcijama, a nije pod nadzorom svijesti. Kada buka prijeđe razinu od oko 60 dBA, pojavljuju se simptomi koji su posljedica pojačane funkcije simpatikusa. Ovisno o razini buke, reakcije mogu biti od blagih i prolaznih simptoma do burnih reakcija i trajnih težih oštećenja. Postoje individualne razlike u reakciji na buku, kao što je i kod svih fizioloških i patofizioloških reakcija organizma.

Buka je, dakle, jedan od stresogenih faktora ljudskog okoliša. Povišenjem tonusa simpatikusa ona izaziva porast krvnog tlaka, napose dijastoličkog. Smanjuje se količina krvi koju srce stezanjem ubacuje u krvotok i snižava se periferna cirkulacija, pa svi organi u tijelu dobivaju manje krvi, a time i manju količinu kisika od one koju trebaju za ispravno funkcioniranje. Pojavljuju se poremećaji disanja, promjene crijevne peristaltike, mijenja se ukupni metabolizam u tijelu, remete se funkcije žlijezda s unutrašnjim izlučivanjem (nadbubrežne žlijezde, hipofiza, dijelovi gušterače). Smanjena količina kisika i metabolički i endokrinološki poremećaji toliko utječu na moždane funkcije da se promjene mogu ustanoviti i elektroencefalografskim nalazom. Pojavljuje se umor, razdražljivost, nesanica, smetnje u koncentraciji, slabi koordinacija pokreta, sve reakcije postaju usporene. Rad se obavlja s povećanim naporom, raste potrošak energije što se odražava na mentalne funkcije i koncentraciju.

Mogućnost prilagodbe na djelovanje buke je neznatna, a u osjetljivih ljudi nema takve mogućnosti nego se, naprotiv, reakcija na buku povećava. Podraživanje simpatikusa sa svim vegetativnim promjenama uzrokom je akustičke traume koja se pojavljuje kao posljedica buke. Stezanje arteriola (najmanjih arterija) te povećani otpor protoku krvi ozlijedit će najprije onaj dio pužnice koji je vaskularno i energetski manje suficijentan. Usto, zbog većih amplituda vibracija u tekućinama pužnice, viša razina buke u većoj mjeri opterećuje dijelove Cortijeva organa. Budući da je u ovoj fazi sluh oštećen češće za tonove viših frekvencija, ta se

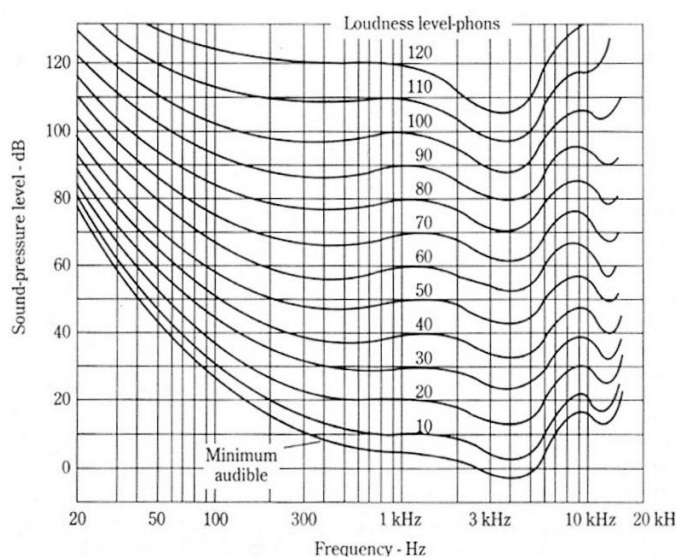
naglušost u svakidašnjem životu ne zapaža i, u pravilu, ne uočava na vrijeme. Takva osoba najčešće ostaje i dalje izložena štetnom djelovanju buke, oštećenje napreduje, širi se na zvukove nižih frekvencija i na kraju prelazi u tešku naglušost.

Čovjek nema sposobnost privikavanja na trajni prekomjerni zvučni podražaj i reakcije su organizma nepovoljne za njegovo zdravlje, sigurnost i dobro osjećanje.

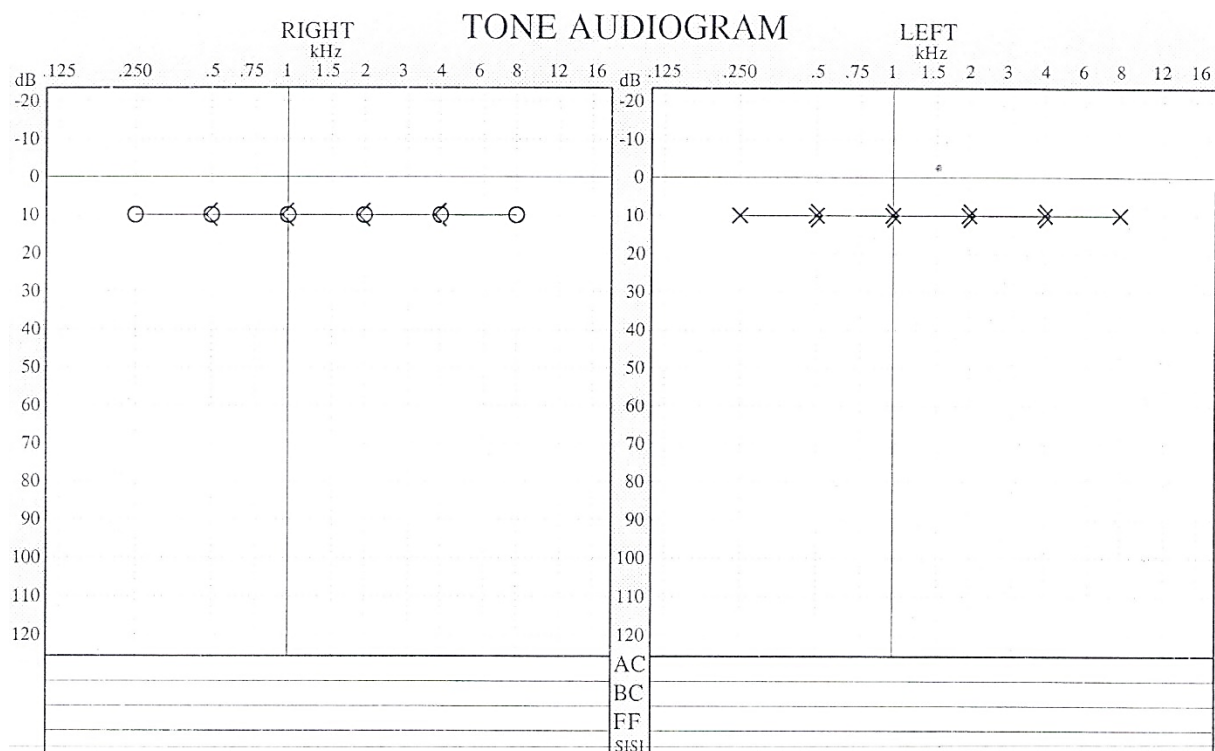
Iz navedenog je vidljivo da posljedice djelovanja buke na ljude mogu biti sljedeće:

- Naglušost i gluhoća
- Neurovegetativne reakcije organizma (stres)
- Umor i smanjenje radne sposobnosti
- Ometanje komunikacije tj. govornog sporazumijevanja i čujnosti zvučnog signala
- Psihičke reakcije (nelagodnost)
- Ometanje odmora i sna

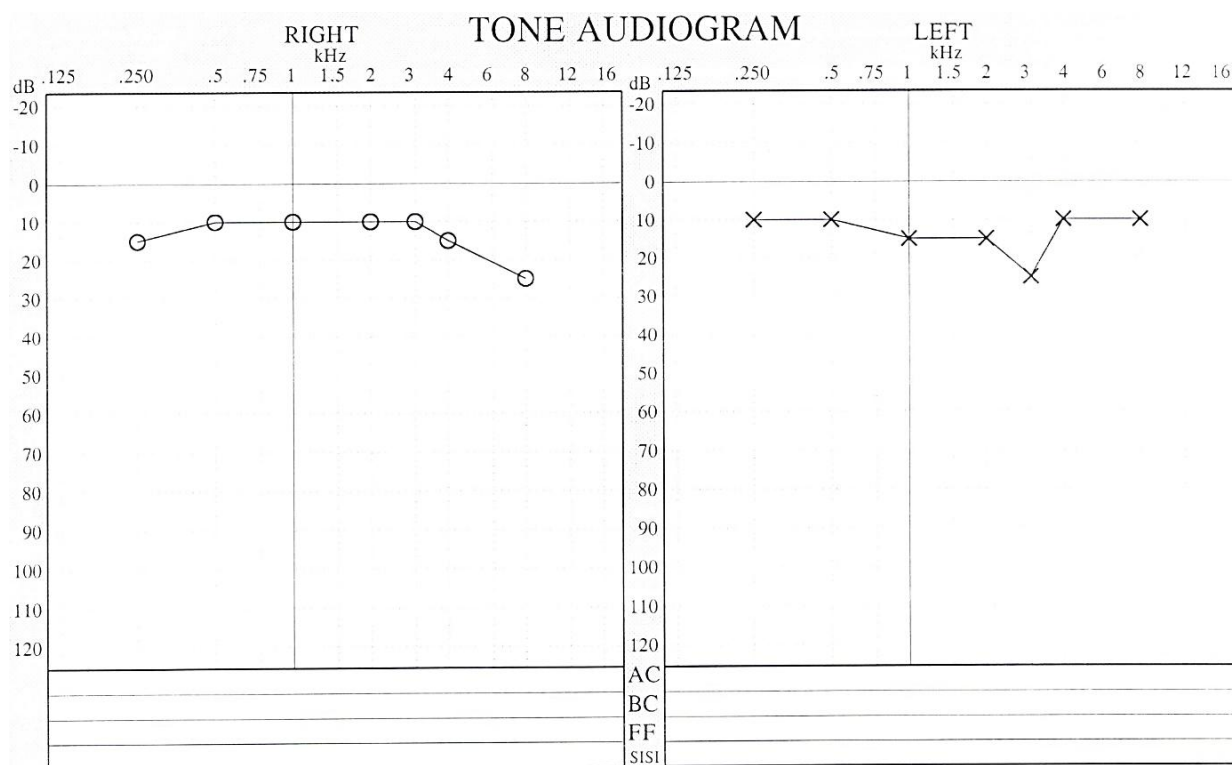
Gubitak sluha mjeri se audiometrom. On se sastoji od generatora zvučnog signala, kalibriranog potenciometra i slušalica. Uređaj se umjerava ispitivanjem osoba normalnog sluha. Rezultati mjerenja zračne vodljivosti zvuka i koštane vodljivosti spajaju se u krivulje koje se zovu audiogrami. Standardizirani oblici audiograma poslužili su kao temelj za izradu tzv. krivulja jednakih čujnosti, odnosno izofona (Slika 6). Tako snimljene krivulje omogućuju da se na prvi pogled dobije slika o tome koliki je stupanj oštećenja i kakva je njegova vrsta. Nagluhe osobe mogu pratiti govor i glazbu uz uporabu slušnih aparata, koji su prilagođeni vrsti i karakteristici naglušosti. Kad je oštećeno srednje, a sačuvano unutrašnje uho, dovodi mu se zvuk preko vibratora prislonjenog na kost iza uške. Na Slikama 7. i 8. prikazani su osobni audiogrami autora ovog rada.



Slika 6. Audiogram normalnog ljudskog uha [13]



Slika 7. Osobni audiogram s inicijalnog liječničkog pregleda iz 2005. g. koji pokazuje očuvan sluh

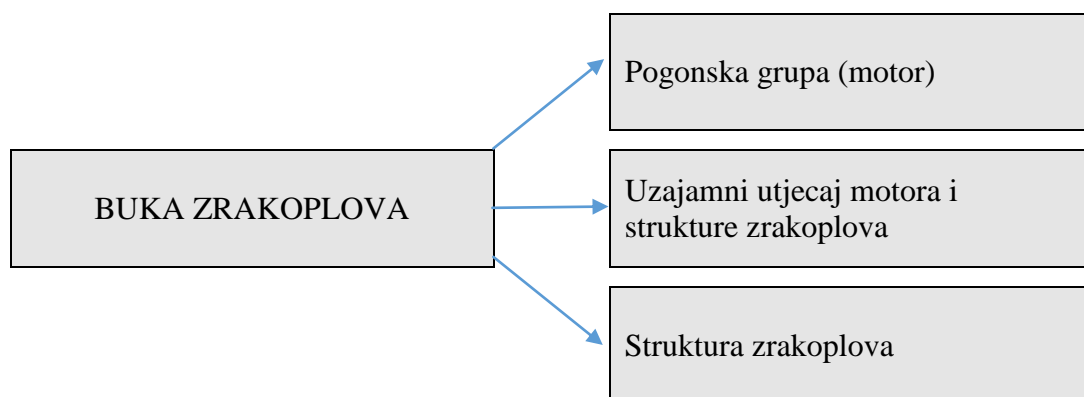


Slika 8. Osobni audiogram s redovitog liječničkog pregleda iz 2016. g. koji pokazuje oštećenje sluha

4. IZVORI I KARAKTERISTIKE BUKE

4.1. Izvori buke kod zrakoplova

Buka zrakoplova može se definirati kao neželjeni zvuk koji proizvodi zrakoplov. Svakim danom buka zrakoplova postaje sve veći problem i širenjem zračnih luka te povećanjem zračnog prometa mnoga naselja su pod štetnim djelovanjem te buke. U gradovima su sve prisutniji letovi helikoptera, kao što su policijski nadzor iz zraka, hitni medicinski prijevoz, sve privlačniji putnički prijevoz do krajnje lokacije (poput helidroma na krovovima hotela). Buka kod zrakoplova može biti unutrašnja ili vanjska, ali i jedna i druga nastaju od istih izvora koji se mogu podijeliti u tri grupe (Slika 9.). Prvoj grupi pripada buka koju proizvodi pogonska grupa zrakoplova, drugoj uzajamni utjecaj između motora i strukture zrakoplova, a trećoj struktura (oblik) zrakoplova. Ovisno o vrsti operacija, buku zrakoplova možemo podijeliti na buku koja nastaje u fazi polijetanja i slijetanja, odnosno lebdjenja helikoptera na određenom mjestu, letovi iznad naseljenih mjesta te buku zrakoplova na zemlji prilikom servisiranja i testiranja motora.



Slika 9. Osnovne komponente buke zrakoplova [12]

4.2. Izvor buke kod helikoptera

Izvor buke na helikopteru primarno se promatra kao buka rotora (nosećeg i repnog). Buka koju stvara pogonska skupina, odnosno turbo-osovinski mlazni motor je zanemariva, jer tu buku maskira glavni izvor buke, a to je sam rotor. Buka strukture zrakoplova definira se kao neželjeni zvuk koji nastaje prilikom protoka zraka uz aeroprofil te je također zanemariva na helikopterima (Tablica 2.).

Tablica 2. Izvori buke ovisno o tipu zrakoplova

Tip zrakoplova	Izvor buke	
	Pogonska grupa	Planer (zmaj)
Opća avijacija: sportski, poljoprivredni zrakoplovi	elise, ispušni plinovi iz klipnog motora	zanemarivo mala
Helikopteri	rotor, ispušni plinovi iz klipnog ili mlaz iz TM motora	zanemarivo mala
STOL	ventilator, mlaz iz TM motora	međusobni utjecaj između strujanja zraka i površine planera
Putnički i transportni zrakoplovi	ventilator, mlaz iz TM motora	međusobni utjecaj između strujanja zraka i površine planera
Nadzvučni putnički zrakoplovi	mlaz iz TM motora	međusobni utjecaj između strujanja zraka i površine planera

Izvor: [5]

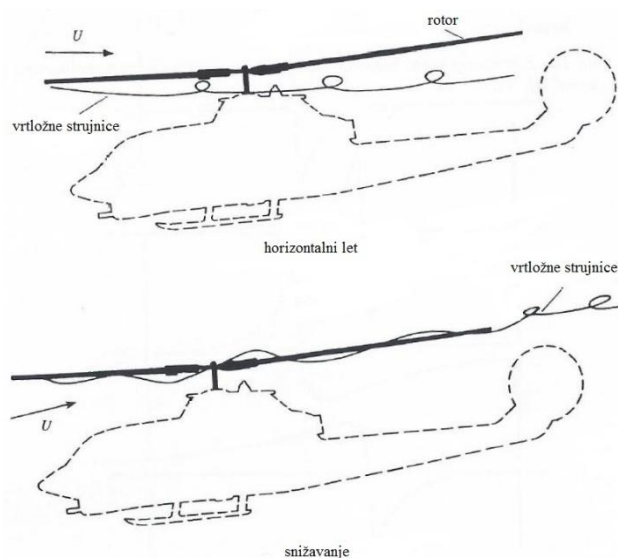
Buka helikoptera je vrlo slična buci propelera, s razlikom što je rotor poravnat s pravcem leta, u odnosu na propeler koji je okomit na pravac leta. Posljedično, određeni izvori buke nosećeg i repnog rotora su identični onima na propeleru. Osim toga, buka helikoptera ima vrlo karakterističan zvuk. Ta pojava poznata je kao „šamaranje“ lopatica ili tup udarac i predstavlja glavni izvor buke kod helikoptera [1].

Za specificiranje buke helikoptera mora se odrediti njegova pozicija, tj. mjesto gdje se čovjek (promatrač) nalazi te krenuti od samoga izvora.

Prva pozicija helikoptera je stvaranje buke pri lebdjenju. Ukoliko se buka bilježi s pozicije koja se nalazi neposredno iznad osi vrtnje rotora koji se okreće, percipira se samo jednolični zvuk „šištanja“ zraka kako lopatice prolaze kroz zrak. Tu buku primarno stvaraju molekule zraka koje se u graničnom sloju opstrujavanja lopatica rotora ubrzavaju, a potom u nepravilnom i kaotičnom gibanju bivaju odbačene preko izlazne ivice aeroprofila lopatice. Kako se povećava napadni kut lopatica, a time i uzgon, na njihovim vrhovima pojavljuje se vrtloženje strujnica zraka koje može promijeniti karakteristike buke u nešto grublji zvuk. Dio te promjene je uzrokovan udarima nadolazeće količine zraka koja se stvara kada je helikopter u lebdjenju. Zvuk koji stvara turbulentni zrak i zvuk stvoren vrtloženjem strujnica nemaju istu frekvenciju pa se zbog tog razloga takva buka naziva buka širokog spektra ili „bijela“ šum zbog bijele svjetlosti koja u sebi sadrži sve frekvencije ili boje spektra. Ukoliko se buka bilježi s pozicije koja se nalazi u neposrednoj blizini rotora, zabilježeni zvuk ima drugačije karakteristike. Sada se pojavljuje i buka uzrokovana rotacijom, pri čemu se čuje svaki prolazak lopatice odnosno viši harmonici te frekvencije. Što su broj okretaja rotora i broj

lopatica veći, to će i frekvencija prolazeće lopatice bivati sve viša. Kako je ljudsko uho osjetljivije na više nego na niže frekvencije, može se dogoditi da repni rotor malog promjera s četiri lopatice koje se okreću relativno brzo stvara veću buku od sporije rotirajućeg nosivog rotora sa dvije lopatice, iako kroz njega prolazi manja količina zraka.

Druga pozicija je horizontalan let u kojem helikopter stvara određenu buku. Ta se buka stvara uslijed okretanja rotora. U ovoj fazi moguće je zabilježiti još jednu karakterističnu vrstu buke pod nazivom “*blade slap*” ili impulsna buka lopatica. Ona se može pojaviti kao posljedica dva slučaja. U prvom slučaju vrh napredujuće lopatice (lopatica koja se kreće u smjeru leta helikoptera) kreće se toliko brzo da u značajnoj mjeri i vrlo brzo komprimira zrak ispred sebe. To uzrokuje udarne valove koji se projiciraju kao velike promjene u tlaku ispred vrha lopatice. Na maloj udaljenosti zvuk “pucanja” tih impulsa može biti vrlo neugodan. Pri relativno velikom broju okretaja ta se buka pretvara u serije “tupih” udaraca koji se onda mogu čuti na velikoj udaljenosti. Drugi slučaj ili tip impulsne buke nastaje interakcijom između vrtložnih strujnica kada lopatica uđe u vrtložnu struju zraka koja je nastala prolaskom prethodne lopatice. U većini režima leta helikoptera vrtložne strujnice zraka i lopatice ne dolaze u kontakt, ali u nekim manevrima kao što je blago spuštanje ili uvođenje u zaokret ipak dolazi do međusobne interakcije – Slika 10. Struja zraka oko vrtloga stvara iznenadne promjene napadnog kuta i brzine opstrujavanja lopatice što uzrokuje lokalno odvajanje strujnica i mogućnost pojave udarnog vala. Ovdje dolazi do izražaja brzina promjene tlaka zraka koja zbog toga stvara ovu vrstu buke koja se općenito prostire ispred i ispod putanje leta, a ne istreniranom uhu može zvučati isto kao i buka uzrokovana velikom brzinom kretanja lopatice.



Slika 10. Utjecaj putanje leta na impulsnu buku lopatica [1]

Optimalna metoda smanjenja buke helikoptera je odabir relativno male brzine vrhova lopatica za noseći i repni rotor, što smanjuje buku uzrokovanu okretanjem rotora i minimalizira buku koja nastaje komprimiranjem zraka pri velikim brzinama. Međutim, smanjenje brzine vrhova lopatica zahtijeva adekvatno povećanje površine lopatica, a time i teži rotor kako bi se dobile iste performanse. Pri tome se zbog manjeg broja okretaja i veće sile povećava težina transmisije i veličina vratila. Tako je krajnji produkt u konstrukciji uvijek kompromis između visokih performansi i niske razine buke koji u najboljoj mjeri zadovoljava sve uvjete za koje je namijenjen helikopter.

4.3. Osnovne karakteristike helikoptera Mi -8 MTV-1

Helikopter MI-8MTV namijenjen je za prijevoz putnika, transport unutarnjeg i vanjskog tereta, hitni medicinski prijevoz, akcije traganja i spašavanja, gašenje požara te za izvršenje specijalnih zrakoplovnih radnji na teško dostupnom terenu. Helikopter je projektiran prema jednoelisnoj shemi s glavnim rotorom koji ima pet krakova i repnim rotorom s tri kraka. Na helikopteru su postavljena dva vrtilno mlazna motora TV3-117VM sa poletnom snagom 1470kW (2000KS) svaki, što omogućava polijetanje i slijetanje u slučaju otkaza jednog motora te, ako je potrebno, prelazak ispravnog motora na izvanredni režim rada sa snagom 1617kW (2200KS).

Osnovni taktičko tehnički podaci:

- **Zemlja proizvodnje** → Rusija
- **Posada** → Kapetan, kopilot, 2 tehničara letaća
- **Pogonska skupina:**
 - 2 vrtilno mlazna motora TV3-117VM → 1470kW (2000KS) svaki
- **Težine:**
 - Masa praznog helikoptera → 7142 kg
 - Normalna poletna masa → 11100kg
 - Maksimalna poletna masa → 13000 kg
 - Maksimalna masa tereta u teretnoj kabini → 4000 kg
 - Maksimalna masa podvjesnog tereta → 3000 kg
 - Maksimalna masa tereta na LPG dizalici → 150 kg

- **Dimenzije helikoptera:**

Duljina helikoptera bez rotora	→ 18.424 m
Duljina helikoptera sa rotorima u radu	→ 25.352 m
Visina praznog helikoptera bez rotora pravca	→ 4.756 m
Visina helikoptera s rotorom pravca u pogonu	→ 5.521 m
Klirens	→ 0.445 m
Kolotrag	→ 4.51 m
Visina teretnog prostora	→ 1.8 m
Promjer nosećeg rotora	→ 21.294 m
Promjer repnog rotora	→ 3.908 m
Površina diska nosećeg rotora	→ 356.1 m ²
Širina trupa	→ 2.5 m

- **Količina goriva:**

Rashodni spremnik	→ 445 l
Desni podvjesni spremnik	→ 1060 l
Lijevi podvjesni spremnik	→ 1130 l
Dopunski spremnik	→ 915 l

- **Brzine:**

Krstareća brzina	→ 220 – 240 km/h
Maksimalna brzina	→ 250 km/h
Minimalna brzina horizontalnog leta	→ 60 km/h

- **Praktični plafon leta** → 6000 m

- **Temperature pri kojima se dopušta let** → - 50°C do + 50°C

4.4. Izvor buke kod helikoptera Mi - 8 MTV-1

Izvori buke na helikopteru Mi – 8 MTV-1 podijeljeni su u 3 grupe. Prvenstveno zbog pozicije mjerenja koja se nalazi unutar helikoptera, veličine helikoptera te brojnosti složenih sustava ukupnu unutarnju buku kod helikoptera, a samim time i utjecaj buke na posadu i putnike, uzrokuju sve tri grupe uzajamno.



Slika 11. Izvori buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 [1, 17]



Slika 12. Izvori buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 [1, 17]

Izvori buke helikoptera kao što je prikazano na Slici 11. i 12, gdje su:

- 1 i 2 glavni i repni zvuk
- 3 i 4 interaktivni zvuk (rotor/struktura)
- 5 i 6 zvuk nastao efektom vrtloga – glavni i repni rotor
- 7 pogonska grupa

1. U **prvu grupu** spada buka koju proizvodi glavni i repni rotor. Kako se i ranije spominje, to je primarna buka koju promatrač percipira i kao takva uglavnom maskira ostale izvore buke helikoptera.

- **Glavni/noseći rotor:**

- Promjer elise → 21,3 m
- Tetiva lopatice → 0,52 m
- Masa kompletnog rotora → 1310 kg
- Broj okretaja nosivog rotora → 192 o/min⁻¹

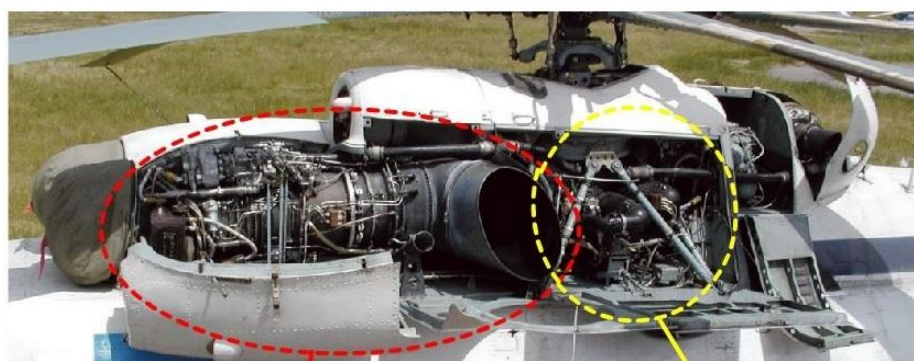
- **Repni rotor:**

- Promjer elise → 3,9 m
- Masa kompletnog rotora → 128 kg
- Broj okretaja repnog rotora → 1120 o/min⁻¹

2. U **drugu grupu** spada buka pogonske grupe helikoptera. To uključuje dva vrtilno mlazna motora TV3-117VM, glavni reduktor VR-14 te ventilator.

- **Motor TV3-117VM (Slika 13.):**

- Maksimalna snaga → 2200 KS
- Masa „suhog“ motora → 297 kg
- Broj okretaja izlaznog vratila → 15000 o/min⁻¹



Motor TV3-117VM

Glavni reduktor VR-14



Slika 13. Motor TV3-117VM i Glavni reduktor VR-14 [17]

- **Glavni reduktor VR-14** (Slika 13.):

- Masa reduktora → 840 kg
- duljina x širina x visina → 1,2 x 0,8 x 1,76 m
- Tri stupnja redukcije:
 - Broj okretaja ulaznih vratila → 15000 o/min⁻¹
 - Broj okretaja glavnog rotora → 192 o/min⁻¹
 - Broj okretaja repnog vratila → 2594 o/min⁻¹
 - Broj okretaja ventilatora → 6031 o/min⁻¹

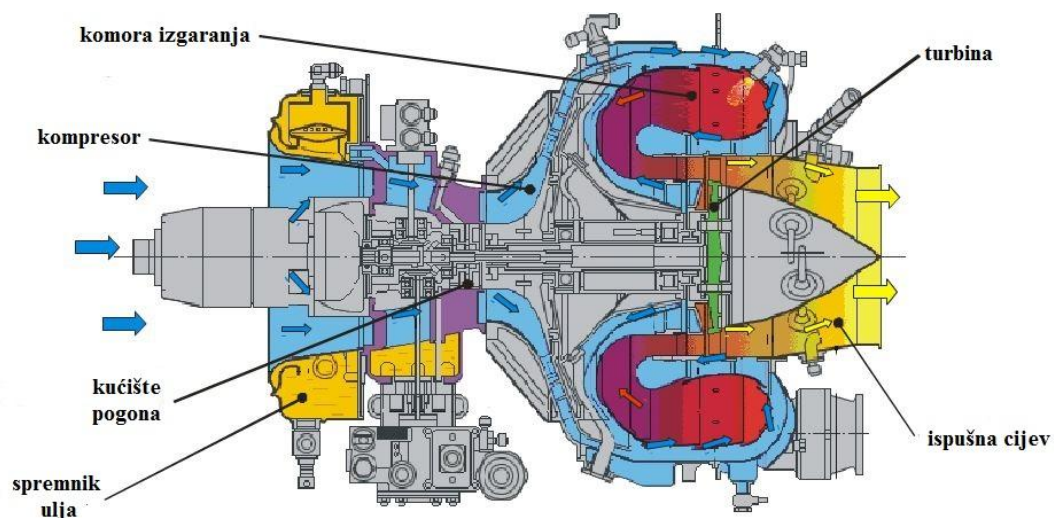
- **Ventilator:**

- sustav zračnog hlađenja namijenjenog za hlađenje ulja u zračno-uljnim izmjenjivačima
- Broj okretaja → 6031 o/min⁻¹

3. U treću grupu izvora buke na helikopteru spada buka složenih sustava helikoptera.

- **Ai-9V starter-generator** (Slika 14.):

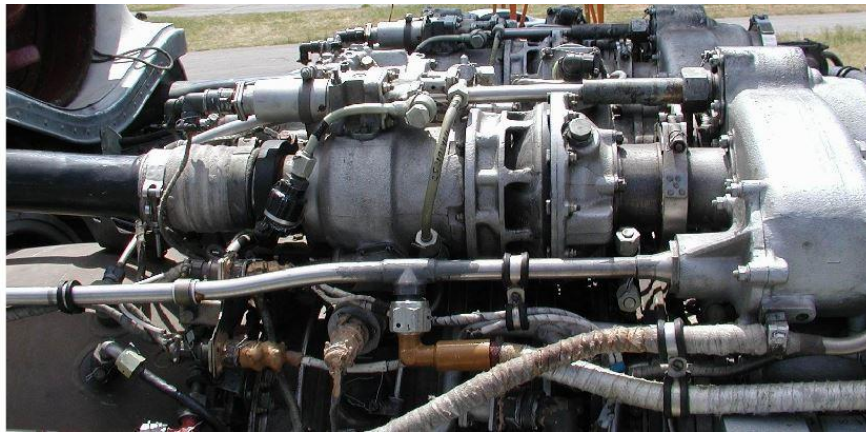
- Namijenjen je za napajanje sustava startanja osnovnih motora sa stlačenim zrakom i napajanje mreže helikoptera istosmjernom strujom na zemlji prilikom provjere elektro-opreme te u letu prilikom otkaza osnovnih generatora.
- Masa „suhog“ motora → 57 kg
- Broj okretaja izlaznog vratila → 36750 o/min⁻¹



Slika 14. Ai-9V starter-generator [17]

- **Zračni starter (Slika 15.):**

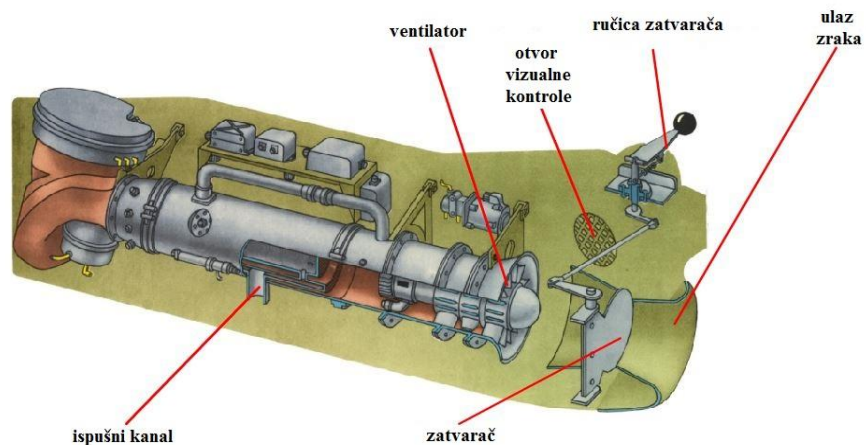
- Broj okretaja $\rightarrow 48900 \text{ o/min}^{-1}$



Slika 15. Zračni starter CB-78BA [17]

- **Ko-50 (Slika 16.):**

- Namijenjen je za grijanje i ventilaciju pilotske i teretne kabine.
- Broj okretaja ventilatora $\rightarrow 7400^{+600}$
- Maksimalna količina kalorija $\rightarrow 50000/\text{sat}$



Slika 16. KO-50 [17]

- **Elektro oprema:**

- Smještena u zidu između pilotske i transportne kabine

5. MJERE I POSTUPCI ZAŠTITE OD BUKE U HELIKOPTERU

5.1. Tehničke mjere zaštite od buke

Zvučnom zaštitom nastoji se u što većoj mjeri spriječiti nastajanje buke. Smanjenje buke na izvoru gotovo je uvijek najučinkovitija i najjeftinija zaštitna mjera. Kada se iscrpe te mogućnosti, pristupa se suzbijanju buke na svim putovima širenja i, po potrebi, lokalno na mjestu prijema ili osobnom zaštitom. Lokalne su mjere često nužne kada je riječ o vrlo tihim prostorima, dok su osobna sredstva potrebna samo kod povremenog boravka u vrlo bučnim prostorima, ili kod nepostojanja drugog tehničkog rješenja.

Mogućnosti smanjenja buke:

- **Izolacijom zračne komponente zvuka** različitim pregradama, oklapanjem izvora buke, postavljanjem barijera (zaslona), izgradnjom zaštitnih kabina i sl. sprječava se širenje buke od izvora u zaštićene prostore. Svaka pregrada ima neku sposobnost zvučne izolacije ovisno o njenoj plošnoj masi, elastičnosti i strukturi. Dvostruke pregrade imaju veliku prednost pred jednostrukima, jer za istu mase pregrade daju mnogo veći učinak.
- **Apsorpcija zračne komponente zvuka** potpuno je različit fizikalni mehanizam od izolacije. Ona se postiže primjenom poroznih materijala (kamena i staklena vuna, spužvasti materijali) te različitih rezonancijskih konstrukcija. Apsorpcijski sloj gotovo uopće nema izolacijske sposobnosti. On se redovito primjenjuje dodatno uz izolaciju, ali i u obliku samostalnih apsorbera zvuka. Apsorpcijskom obradom nekog prostora, bilo da je riječ o predajnoj bilo o prijamnoj prostoriji, snižava se samo razina reflektiranog (difuznog) zvuka, što znači zvuka na određenoj udaljenosti od izvora. Primjenjuje se i za oblaganje cjevovoda i u međuprostoru između dvostrukih izolacijskih pregrada.
- Unošenjem posebnih **zvučnih prigušivača** u cjevovode zraka i drugih plinova te ulja i vode sprječava se širenje zvuka kroz same medije unutar cjevovoda.
- **Izolacija strukturnog zvuka** (vibroizolacija) odvaja izvore od okolne strukture i tako sprječava širenje zvuka kroz čvrstu strukturu, kroz koju bi se zvuk dalje širio gotovo bez gubitaka. Strukturnozvučna izolacija ostvaruje se elastičnim ovješavanjem izvora

gumenim ili metalnim elastičnim elementima i elastičnim slojevima od usitnjene gume.

- **Prigušenje strukturnog zvuka** ostvaruje se nanošenjem viskoelastičnih („antivibracijskih“) premaza na postojeću čvrstu strukturu ili dodavanjem specijalnih prigušnih konstrukcija. Primjenjuje se na ovjesima strojeva i na samim strojevima, na okolnoj strukturi u blizini izvora, na cjevovodima i lokalno u prijemnim prostorijama.
- **Osobnim sredstvima za zaštitu sluha** pribjegava se tek tada kada se racionalnom primjenom drugih mjera ne može buku ograničiti na zadanu vrijednost. Ona se upotrebljavaju isključivo za kratkotrajno zadržavanje u prostorijama s razinama buke iznad 85 dB.

5.2. Vrste sredstava za osobnu zaštitu sluha

Za upotrebu zaštite sluha u bučnim sredinama sa različitim intenzitetom buke postoje osnovna tri tipa sredstava i to:

1. Zaštitna sredstva koja se stavljaju u zvukovod
2. Zaštitna sredstva koja štite cijelo vanjsko uho
3. Zaštitna sredstva koja štite cijelu glavu

Izbor zaštitnih sredstava ovisi od frekventnog sastava buke i od vrste rada koji se obavlja. Pored toga područje upotrebe proizlazi i od činjenice, da se kod viših razina buke zvuk širi, ne samo zvukovodom uha, već i kostima i to prvenstveno lubanjom i drugim dijelovima tijela. Kako potvrđuju ispitivanja frekventnih karakteristika prigušenja, neka zaštitna sredstva nisu prikladna za upotrebu kod visokih razina buke radi toga što imaju nisko prigušenje kod niskih frekvencija.

U **prvu grupu** zaštitnih sredstava spadaju:

Rezonantni štitnici i plastični čepovi.

Rezonantni štitnici sastoje se od uloška od poliamida u obliku cjevčice promjera 1 mm na kome se nalazi prsten, na koji je navučen plašt od špricanog mekanog polivinilklorida. Ovi se štitnici obično proizvode u više veličina.

Plastični čepovi proizvedeni su od smjese parafina, vazelina i drugih masa u obliku valjka promjera oko 8 mm i dužine 25 mm, upakirani su u polietilensku foliju debljine 0,01 mm. Na

normalnoj temperaturi su plastični, tako da se gnječenjem čepovi mogu prilagoditi veličini i obliku zvukovoda. Vađenje čepova iz uha vrši se jednostavno pomoću zavinutog kraja folije.

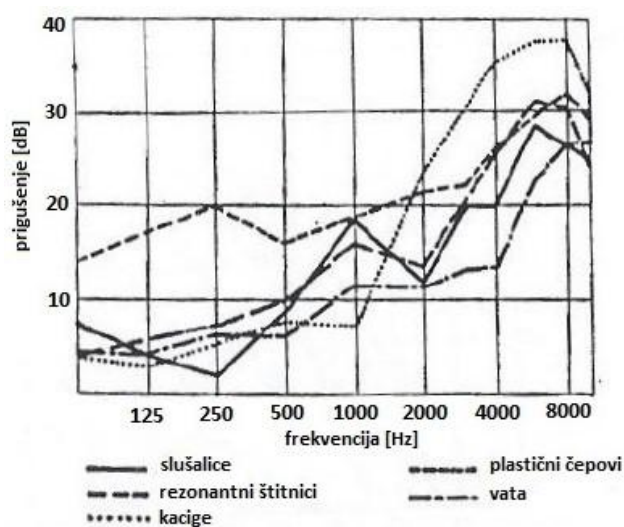
Zaštitna sredstva slušalice sastoje se od školjke koje pokrivaju cijelo vanjsko uho i trake za pričvršćenje preko glave. Školjke su najčešće proizvedene od plastike ili aluminijskog lima, njihova unutrašnjost je ispunjena mekim poliuretanom, vatom ili staklenom vunom. Površine školjke koje naliježu na uho obično su od omekšanog PVC, poliuretana ili fine gume. Traka za pričvršćenje slušalica prilagođava se veličini glave. Masa slušalica je cca 0,3 – 0,35 kg. Slika 17. prikazuje prigušenje buke ušnim štitnicima.

U novije vrijeme proizvode se slušalice sa aktivnom redukcijom buke. Aktivna redukcija buke podrazumijeva emitiranje signala buke u protufazi u "branjenu zonu". Njen efekt je najbolji na niskim frekvencijama. U kombinaciji sa pasivnom redukcijom buke mogu se postići dobri rezultati u širokom frekvencijskom području.

Kacige, kao zaštitno sredstvo od buke, upotrebljava se samo u izuzetnim slučajevima kao npr. kod zrakoplovnog prometa, ispitivanja raketa itd. Imaju malu udobnost i veliku masu, preko 0,5 kg, koja obično nije razmjerna boljem akustičnom efektu.

Kontrola kvalitete zaštitnih sredstava provjerava se kako audiološki, kod štitnika koji se stavljaju u zvukovod, također i u akustičnoj komori za ostala zaštitna sredstva.

Rezultati mjerenja pokazuju da raste prigušenje buke sa porastom frekvencije kod svih zaštitnih sredstava.



Slika 17. Prigušenje buke ušnim štitnicima [2]

Efikasnost prigušenja plastičnih štitnika je najveća kod niskih frekvencija gdje dostiže vrijednost preko 10 dB, kod srednjih do 20 i visokih frekvencija preko 25 dB.

Prigušenje akustičkih kaciga je kod niskih frekvencija nedovoljno obzirom da se one preporučuju za prostore sa visokim razinama buke. Tek iznad 2000 Hz njihovo prigušenje je bolje od ostalih štitnika.

5.3. Osobna zaštitna sredstva na helikopteru Mi - 8 MTV-1

5.3.1. Kaciga Gentex HGU-56/P

Kaciga Gentex HGU-56/P standardni je dio opreme kompletne posade (koju čine kapetan, kopilot, tehničari letači) u Oružanim snagama Republike Hrvatske. Na Slici 18. prikazana je kaciga čija je masa 1,45 kg.



Slika 18. Kaciga Gentex HGU-56/P [18]

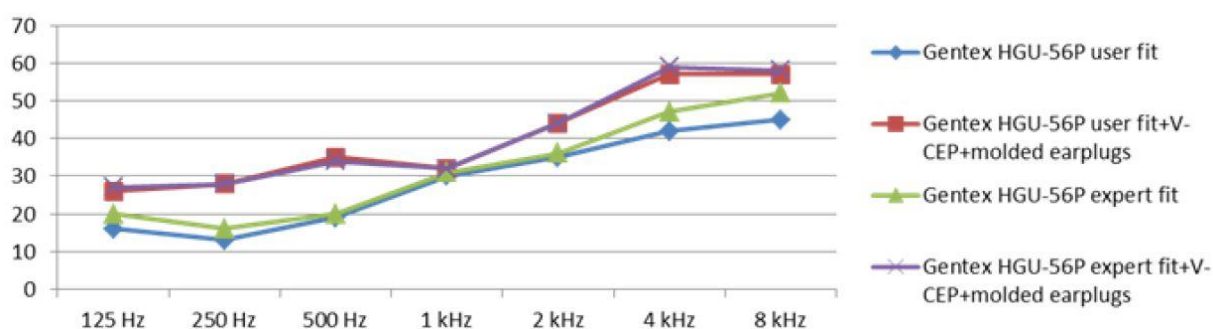
U istraživanju „*Evaluation of HGU-56/P Flight Helmet*“ koje je provelo Nizozemsko ratno zrakoplovstvo izmjerene su vrijednosti oktavnog mjerenja buke ispod zaštitne kacige Gentex HGU-56/P, koje su prikazane u Tablici 3. Mjerenja su izvršena u putničkoj kabini

vojnog helikoptera CH-47 Chinook pri buci od 111 dBA. Kaciga je bila mjerena pod 4 različita uvjeta: labavo pričvršćena (*user fit*), čvrsto pričvršćena (*expert fit*) te oba načina pričvršćenja s dodatnim opcijama duple zaštite, umetanjem dodatnih slušalica unutar zvukovoda koja dodatno prigušuju buku, a istovremeno pojačavaju govor (+ *V-CEP* + *custom earplug*). Varijanta s dodatnim slušalicama nije kompatibilna s opremom hrvatskih inačica helikoptera Mi - 8. Na Slici 19. prikazane su vrijednosti prigušenja za različite opcije namještenosti i opremljenosti navedene kacige.

Tablica 3. Izloženost buci ispod Gentex HGU-56/P kacige u putničkoj kabini helikoptera CH - 47 Chinook pri buci od 111 dBA, za različite opcije namještenosti i opremljenosti kacige

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	LA _{eq}
<i>Gentex user fit</i>	73	83	80	74	70	71	67	86
<i>Gentex user fit + V-CEP + custom earplug</i>	64	69	65	70	61	54	52	74
<i>Gentex expert fit</i>	70	80	78	73	68	65	55	83
<i>Gentex expert fit + V-CEP + custom earplug</i>	64	69	65	71	60	51	50	75

Izvor [15]



Slika 19. Vrijednosti prigušenja za kacigu Gentex HGU-56/P [15]

5.3.2. Slušalice GSŠ-A-18

Slušalice GSŠ-A-18, ruske proizvodnje, standardni su dio opreme u ruskom ratnom zrakoplovstvu, i kao takve standardna su isporuka uz helikoptere Mi – 8. U Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koriste se kao rezervna oprema u slučaju neispravnosti zaštitne kacige. Vrijednosti prigušenja službeno nisu dostupne. Slušalice GSŠ-A-18 prikazane su na Slici 20.



Slika 20. Slušalice GSŠ-A-18

5.3.3. Zaštitne slušalice Peltor – Optime 2

Zaštitne slušalice (antifoni) Peltor – Optime 2 koriste se kod prijevoza putnika i prikazane su na Slici 21.

Zaštitne slušalice Peltor Optime II (Headband Ear Defender) antifoni razvijeni su za zaštitu od opasne buke, gledajući sa aspekta zaštite od buke za rad u zahtjevnim okruženjima ili situacijama. Prigušuju čak i ekstremno niske frekvencije do najvišeg nivoa. Brtveći prstenovi antifona punjeni su jedinstvenom kombinacijom tekućine i pjene. Kao rezultat toga brtvljenje je optimalno s niskim kontaktnim pritiskom te se korisnik i prilikom dugotrajnog nošenja osjeća ugodno. Brtveći prstenovi imaju ventilacijske kanale, a prekriveni sa mekanom higijenskom folijom. Optime II antifoni prikladan su izbor za okruženja sa stalnom industrijskom bukom ili za rad na konstrukcijskim strojevima, u zračnim lukama i pri radu na strojevima u zemljoradnji. U Tablici 4. prikazane su vrijednosti prigušenja za zaštitne slušalice - Optime II Headband Version.

Tablica 4. Vrijednosti prigušenja za zaštitne slušalice - Optime II Headband Version

Frekvencija [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mf [dB]	16,2	14,6	20,2	32,5	39,3	36,4	34,4	40,2
sf [dB]	1,9	1,6	2,5	2,3	2,1	2,4	4,0	2,3
APVf [dB]	14,3	13,0	17,7	30,2	37,2	34,0	30,4	37,9

Izvor [16]

Gdje je:

- Mf [dB] - *Mean attenuation value* - Srednja vrijednost prigušenja
- sf [dB] - *Standard deviation* – Standardno odstupanje
- APVf [dB] - *Assumed Protection Value* – Pretpostavljena vrijednost zaštite



Slika 21. Peltor – Optime 2 [19]

5.3.4. Čepići za uši

Čepići za uši (Slika 22.) izrađeni su od polimerne pjene, mekanog materijala koji upija energiju zvuka te pruža izvrsnu zaštitu sluha i udobnost tijekom cijelog dana. Praktični su za korištenje u prostorima gdje je prisutna buka. Srednja vrijednost prigušenja iznosi 36 dB [20]



Slika 22. 3M čepići za uši [20]

6. MJERENJE UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA Mi-8

6.1. Izvođenje mjerenja

Letenje je provedeno 02.09.2016 g. s helikopterom Mi – 8 MTV-1 na području Kaštelanskog zaljeva s polijetanjem i slijetanjem iz vojarne Knez Trpimir u Divuljama. Mjerenje je obavljeno mjernim instrumentom Norsonic Nor 140 postavljenim unutar pilotske kabine između pilota i kopilota u razini glave, sukladno standardu ISO 5129. Zvuk je sniman u periodu od 10 sekundi za svaki režim leta. U Tablici 5. dani su opći podaci o mjerenju.

Tablica 5. Podaci o mjerenju

Datum	02.09.2016.
Vrijeme (<i>Local time</i>)	13:00 – 13:50
Lokacija	LDHD / Kaštelanski zaljev
Zrakoplov	Helikopter Mi – 8 MTV-1
Visina (ΔH)	GND – 100 m
Meteo: Temperatura Tlak Vjetar	- 32 °C - 762 mmHg - 230/10 kn
Mjerni instrument	Nor 140
Vanjski teret	2000 kg

6.2. Analizator zvuka Norsonic nor140

Analizator zvuka Norsonic nor140 ubraja se u zvukomjere klase 1, a koristi se za globalno i profilno mjerenje razine zvučnog tlaka/intenziteta. Moguće je mjeriti, pohranjivati i kasnije analizirati čitav niz akustičkih veličina kao što su trenutna razina, ekvivalentna razina, maksimalna i minimalna razina zvuka, percentili i dr. Zvukomjer koristi terčne i oktavne filtre te paralelno može mjeriti i računati velik broj veličina s tri vremenske konstante. Oprema uz

zvukomjer uključuje: DC 12V izvor napajanja, avionski priključak, GRAS niskofrekventni mikrofoni, nor1251 akustički kalibrator, instalacijski CD, USB kabel, zaštitnik od vjetra, upute za uporabu i prijenosnu torbu, Slika 23. [11]



Slika 23. Analizator zvuka Norsonic nor140 [13] i mjerenje u letu

6.3. Režimi leta

Mjerenja na helikopteru prikazanom na Slici 24. su podijeljena u 11 režima leta kao što je prikazano u Tablici 6. To su pokretanje, voženje, lebdjenje, prelazak u progresivni let, penjanje, horizontalni let, let na minimalnoj i maksimalnoj brzini, let s jednim motorom, opterećeni helikopter, spuštanje i prilaz za slijetanje. Nakon uspostavljanja određenog režima započinje mjerenje u trajanju 10 sekundi, čiji zapis se zatim pohrani u mapu pod određenim brojem. Kod analiziranja podataka određeni zapis pridružuje se pripadajućem režimu ili fazi leta.

Tablica 6. Režimi leta

1.	Pokretanje		Broj zapisa
1.1.	Ai - 9		0502
1.2.	Startanje 1x motor	Nr = 52 % NtK = 75 %	0503
1.3.	Startanje 2x motor	Nr = 65 % NtK = 75 %	0504
1.4.	Desna korekcija, pokrenuta sva oprema	Nr = 94 % NtK = 88 %	0505
2.	Voženje		Broj mape
2.1.	Voženje – betonska površina	Nr = 93 % NtK = 87 %	0506

3.	Lebdjenje		Broj mape
3.1.	IGE, betonska površina, otvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 95 %	0507
3.2.	IGE, betonska površina, zatvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 95 %	0508
3.3.	OGE, betonska površina, otvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 96 %	0509
3.4.	OGE, travnata površina, otvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 96 %	0510
3.5.	OGE, morska površina, otvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 95 %	0511

4.	Prelazak u progresivni let		Broj mape
4.1.	IGE, morska površina, otvoreni svi otvori	Nr = 96 % NtK = 95 %	0512

5.	Penjanje		Broj mape
5.1.	V = 160 km/h, $v_{\text{penjanja}} = 5 \text{ m/s}$	Nr = 96 % NtK = 96 %	0517

6.	Opterećeni helikopter – vanjski teret	Broj mape
6.1.	Vanjski teret – 2 tone, lebdjenje Nr = 95 % NtK = 99 %	0513

7.	Minimalna / maksimalna brzina	Broj mape
7.1.	Minimalna brzina - $v = 70$ km/h Nr = 95,5 % NtK = 91 %	0516
7.2.	Maksimalna brzina - $v = 250$ km/h Nr = 96,5 % NtK = 97 %	0514

8.	Let na jednom motoru	Broj mape
8.1.	$V = 120$ km/h Nr = 94 % NtK1 = 97 % NtK2 = 79 %	0518

9.	Horizontalni let	Broj mape
9.1.	$V = 190$ km/h Nr = 96 % NtK = 93 %	0521
9.2.	$V = 210$ km/h Nr = 96 % NtK = 94 %	0515
9.3.	$V = 230$ km/h Nr = 96 % NtK = 94 %	0520

10.	Spuštanje	Broj mape
10.1.	$V = 160$ km/h, $v_{\text{spuštanja}} = 5$ m/s Nr = 95 % NtK = 88 %	0519

11.	Prilaz na slijetanje	Broj mape
11.1.	IGE, travnata površina, otvoreni svi otvori Nr = 96 % NtK = 88 %	0523



Slika 24. Helikopter Mi – 8 MTV-1 na kojem je izvršeno mjerenje

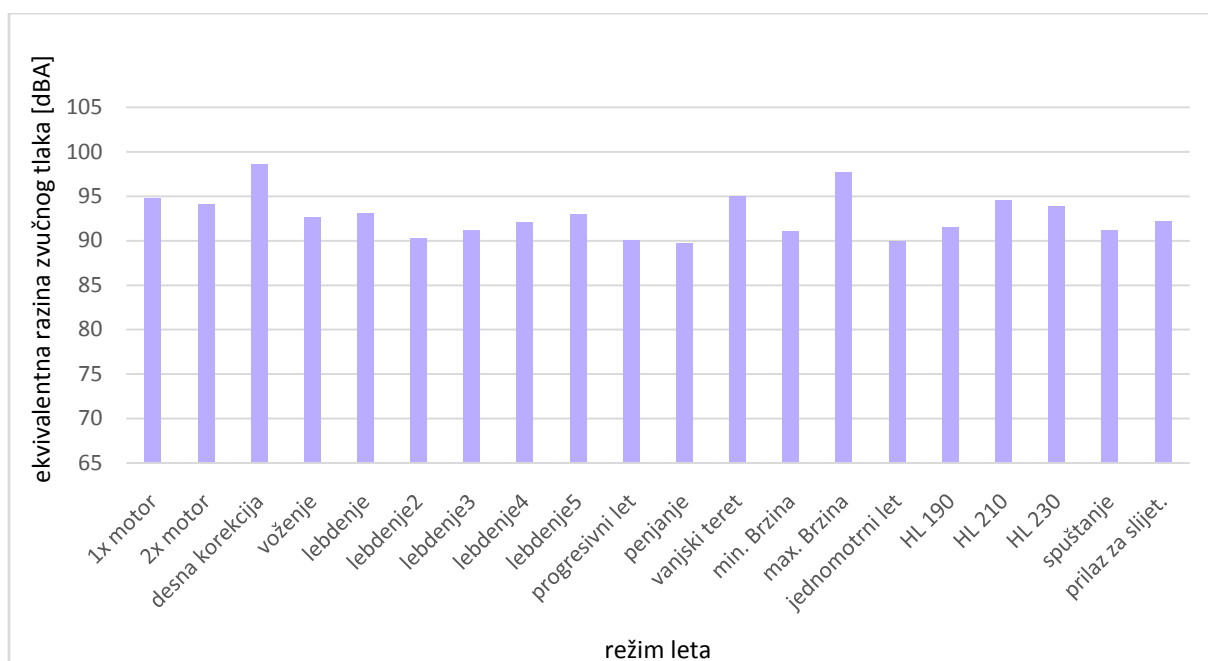
7. ANALIZA REZULTATA I VREDNOVANJE UTJECAJA BUKE NA POSADU I PUTNIKE

7.1. Rezultati mjerenja

U ovome poglavlju u Tablicama od 7. do 11. i na Grafikonima od 1. do 26. prikazani su tablično numerički rezultati te grafički prikaz prikupljenih i izmjerenih vrijednosti za svaki režim leta helikoptera Mi – 8 MTV-1. U tablicama 7 do 11 režimi leta prikazani su brojevima kako je navedeno u poglavlju *Režimi leta*. Sve vrijednosti mjerenja buke prikazane su u jedinici decibel [dB] odnosno dBA.

Tablica 7. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (ekvivalentna razina)

Režim	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1
L_{Aeq}	84,8	94,7	94,1	98,6	92,6	93,1	90,2	91,2	92	93	90
Režim	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	9.1	9.2	9.3	10.1	11.1	
L_{Aeq}	89,7	95	91	97,7	89,9	91,5	94,5	93,9	91,2	92,2	

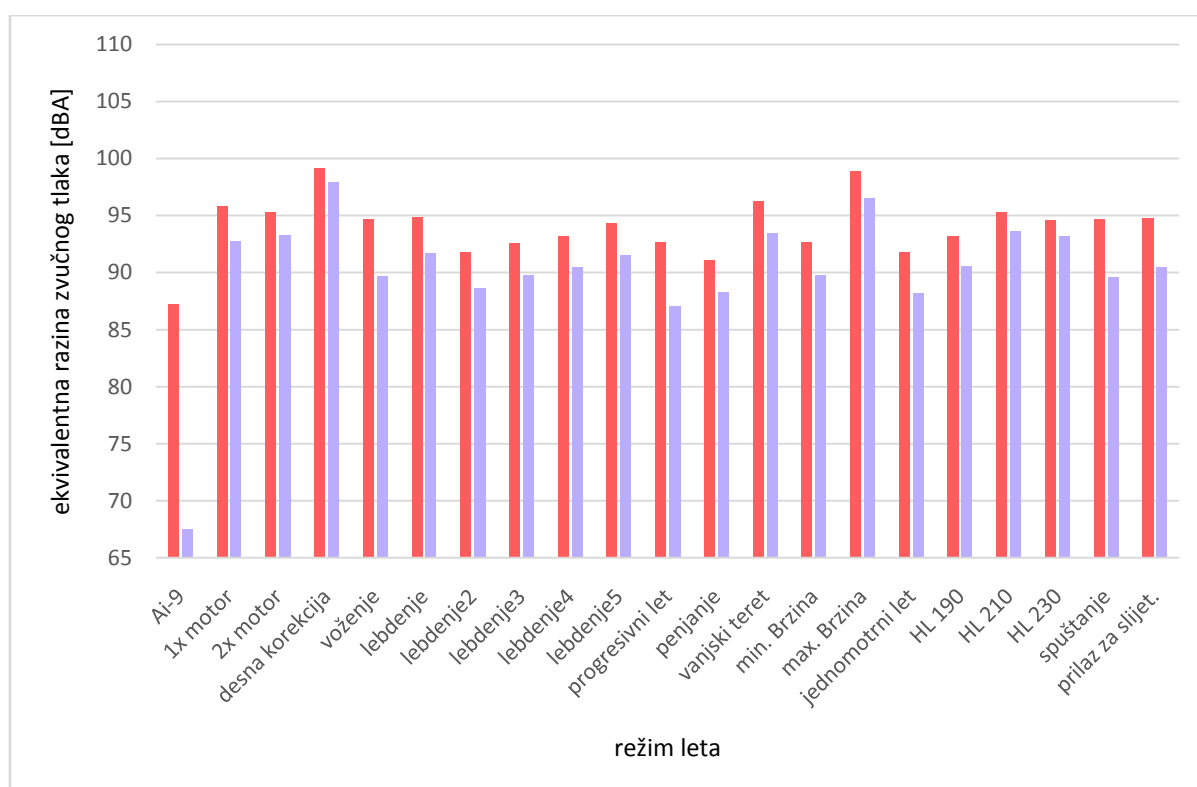


Grafikon 1. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - ekvivalentna razina pri određenim režimima leta.

(A-weighted Integrated Averaged SPL (L_{Aeq}))

Tablica 8. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost)

Režim	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1
Max.	87,2	95,8	95,3	99,2	94,7	94,9	91,8	92,6	93,2	94,3	92,7
Min.	67,5	92,8	93,3	97,9	89,7	91,7	88,6	89,8	90,5	91,5	87,1
Režim	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	9.1	9.2	9.3	10.1	11.1	
Max.	91,1	96,3	92,7	98,9	91,8	93,2	95,3	94,6	94,7	94,8	
Min.	88,3	93,5	89,8	96,5	88,2	90,6	93,6	93,2	89,6	90,5	

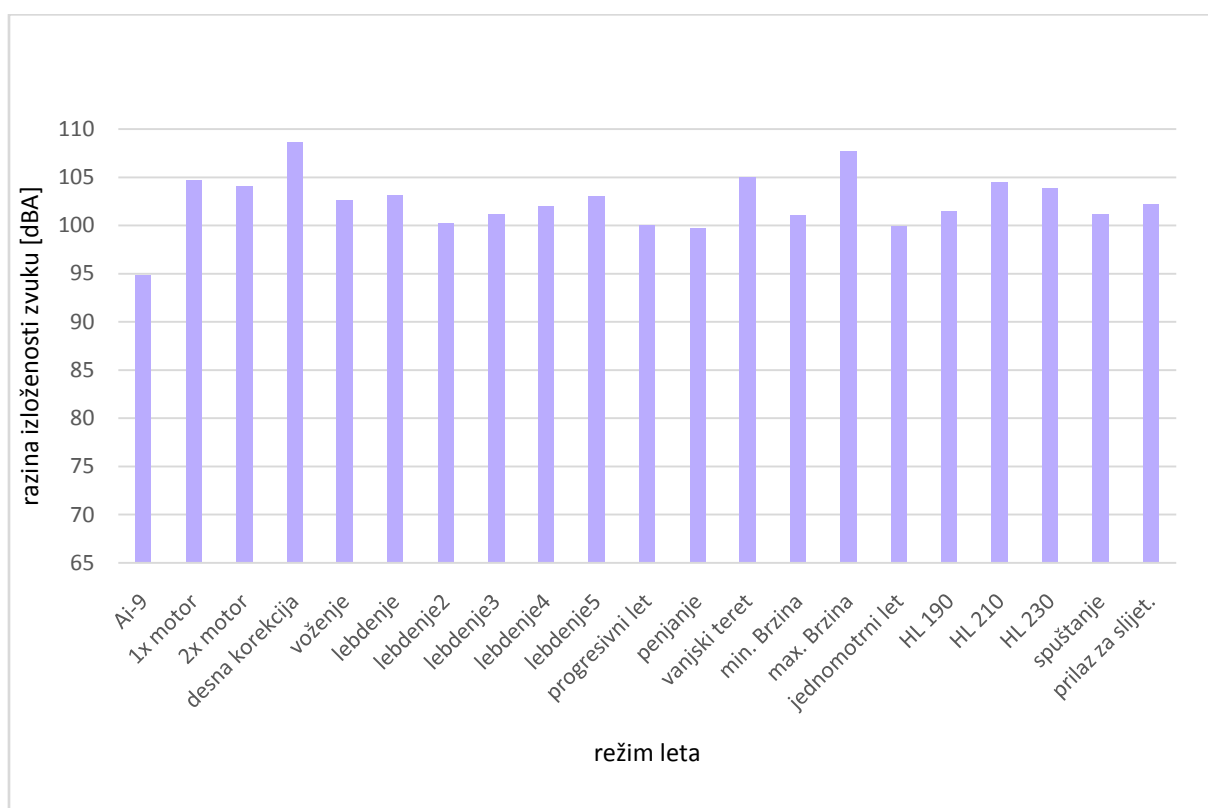


Grafikon 2. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta.

(A-weighted maximum /minimum SPL LAFmax/LAFmin)

Tablica 9. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (razina izloženosti zvuku)

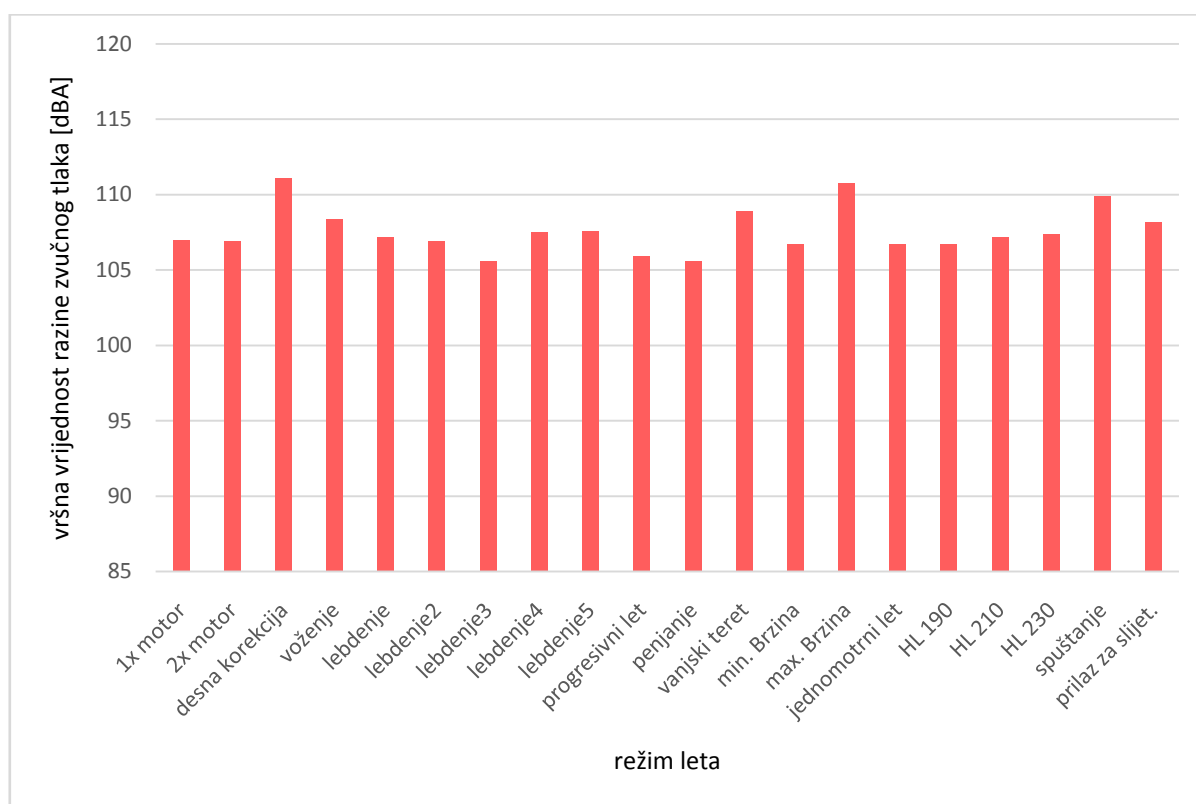
Režim	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1
LAE	94,8	104,7	104,1	108,6	102,6	103,1	100,2	101,2	102	103	100
Režim	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	9.1	9.2	9.3	10.1	11.1	
LAE	99,7	105	101	107,7	99,9	101,5	104,5	103,9	101,2	102,2	



Grafikon 3. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta.
(A-weighted Sound Exposure Level (LAE))

Tablica 10. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (vršne vrijednosti po režimima)

Režim	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1
LApeak	98,6	107	106,9	111,1	108,4	107,2	106,9	105,6	107,5	107,6	105,9
Režim	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	9.1	9.2	9.3	10.1	11.1	
LApeak	105,6	108,9	106,7	110,8	106,7	106,7	107,2	107,4	109,9	108,2	

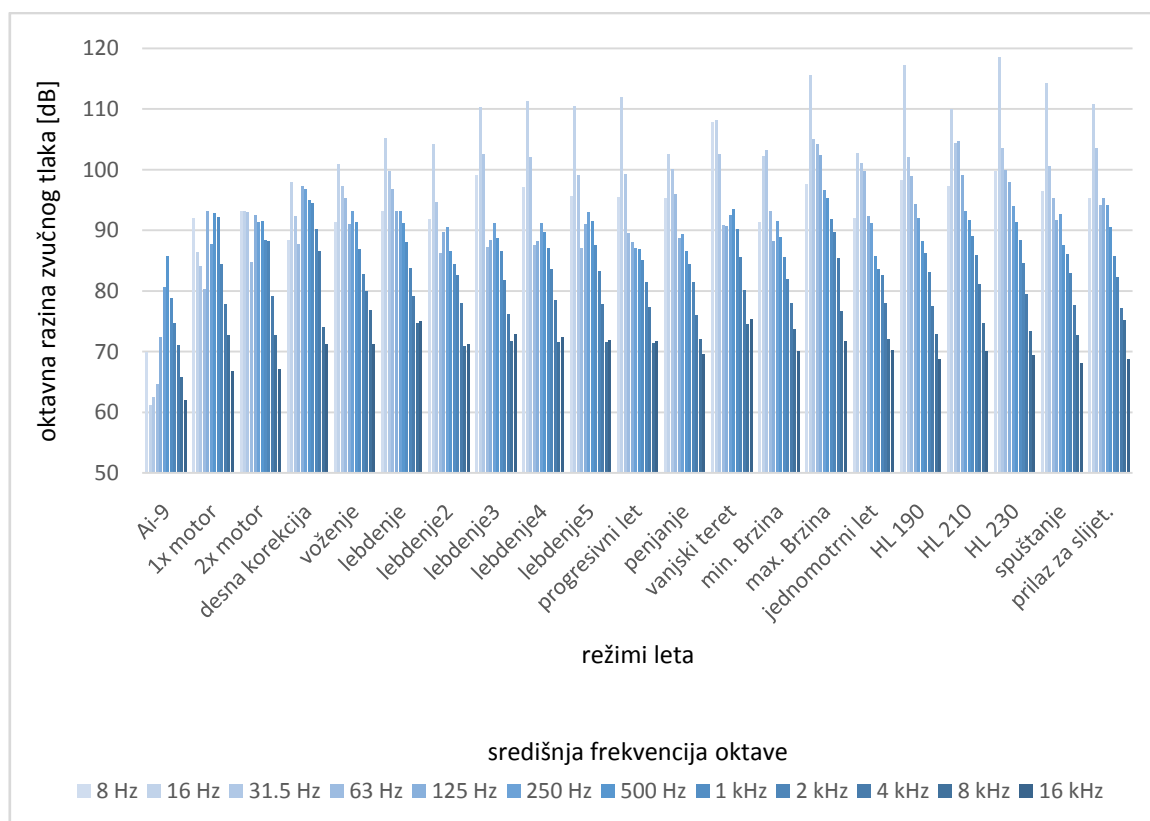


Grafikon 4. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - vršne vrijednosti pri određenim režimima leta.

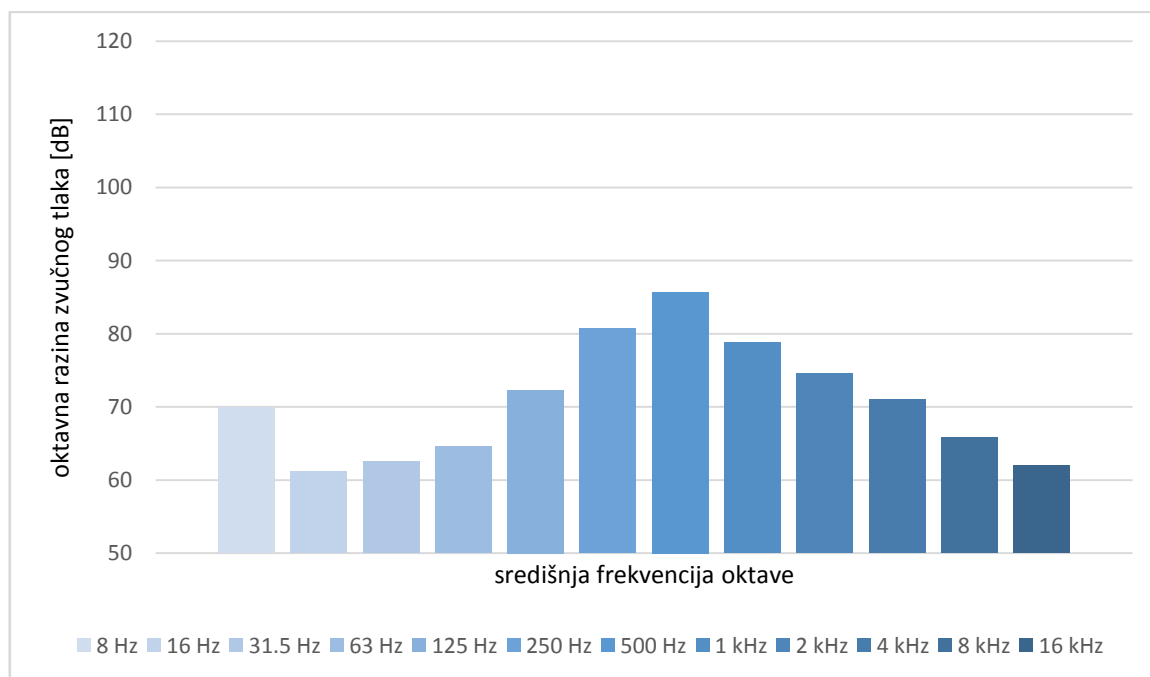
(*LApeak*)

Tablica 11. Rezultati oktavnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u svim režimima leta – srednja vrijednost

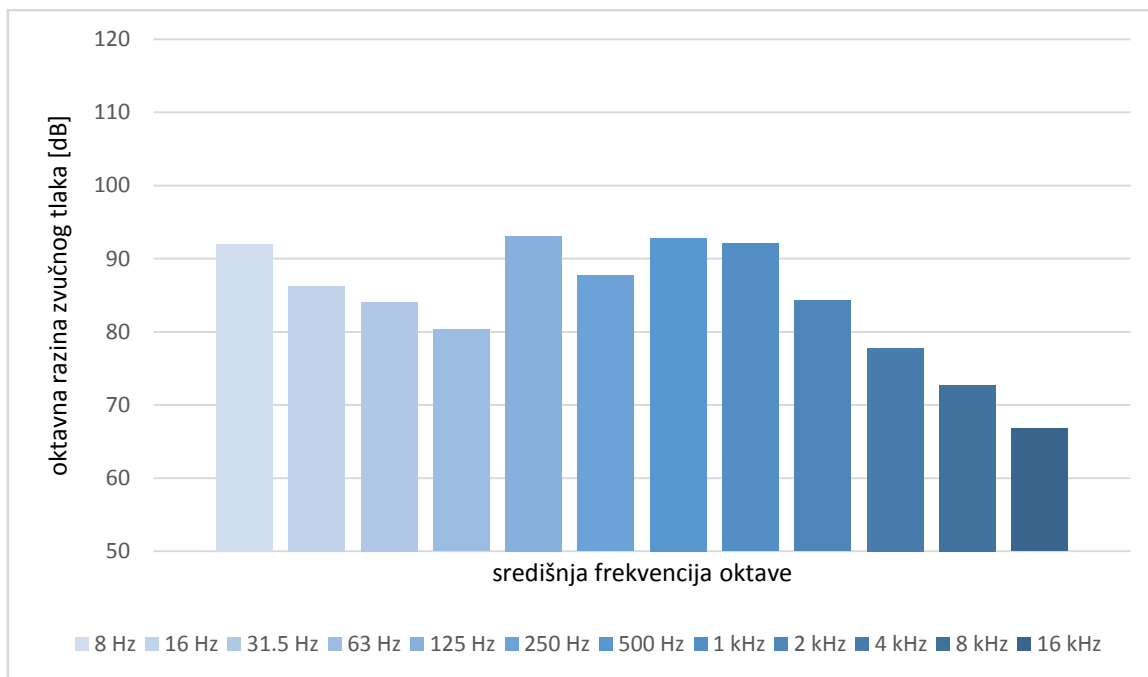
režim	8 Hz	16 Hz	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
1.1	69,9	61,2	62,5	64,6	72,3	80,7	85,7	78,8	74,6	71	65,8	62
1.2	92	86,3	84,1	80,3	93,1	87,7	92,8	92,1	84,3	77,8	72,7	66,8
1.3	93,1	93,1	93	84,7	92,4	91,3	91,5	88,4	88,1	79,1	72,6	67,1
1.4	88,3	97,9	92,3	87,7	97,3	96,8	95	94,5	90,2	86,5	73,9	71,1
2.1	91,4	100,9	97,3	95,3	91	93,1	91,3	86,9	82,8	79,9	76,8	71,2
3.1	93,1	105,1	99,7	96,8	93,1	93,1	91,1	88	83,7	79,1	74,7	75
3.2	91,8	104,2	94,6	86,2	89,6	90,5	86,6	84,4	82,6	78	70,8	71,1
3.3	99	110,3	102,6	87,2	88,4	91,2	88,7	86,5	81,8	76,1	71,7	72,8
3.4	97,1	111,2	102	87,5	88,2	91,1	89,7	87	83,6	78,5	71,6	72,3
3.5	95,6	110,4	99	87	90,9	92,9	91,5	87,6	83,3	77,8	71,6	71,8
4.1	95,5	111,9	99,2	89,5	88	87	86,9	85,1	81,4	77,3	71,3	71,7
5.1	95,2	102,6	100	95,9	88,6	89,3	86,5	84,4	81,4	76	72	69,5
6.1	107,8	108,2	102,6	90,8	90,6	92,4	93,5	90,2	85,6	80,1	74,5	75,3
7.1	91,3	102,2	103,1	93,2	88,1	91,5	88,8	85,5	81,9	78	73,6	70
7.2	97,5	115,6	105	104,2	102,4	96,6	95,3	91,8	89,6	85,4	76,7	71,7
8.1	91,9	102,7	101	99,7	92,3	91,1	85,7	83,6	82,6	78	72	70,2
9.1	98,3	117,2	102	98,9	94,3	92	88,2	86,2	83	77,4	72,9	68,8
9.2	97,3	109,9	104,3	104,6	99,1	93,2	91,6	89	85,9	81,1	74,7	70
9.3	99,7	118,6	103,5	99,9	97,9	93,9	91,3	88,4	84,6	79,5	73,3	69,4
10.1	96,4	114,2	100,6	95,3	91,7	92,7	87,5	86,1	82,9	77,6	72,6	68,1
11.1	95,3	110,8	103,5	94,2	95,2	94,2	90,5	85,7	82,3	77,1	75,2	68,7



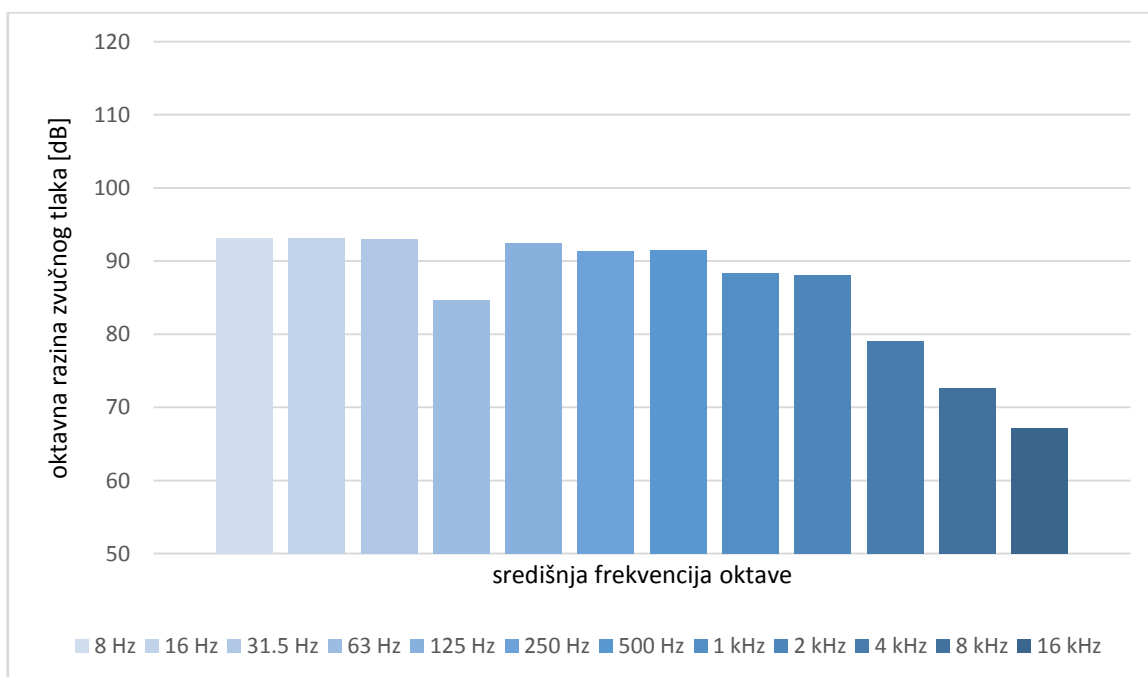
Grafikon 5. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u svim režimima leta



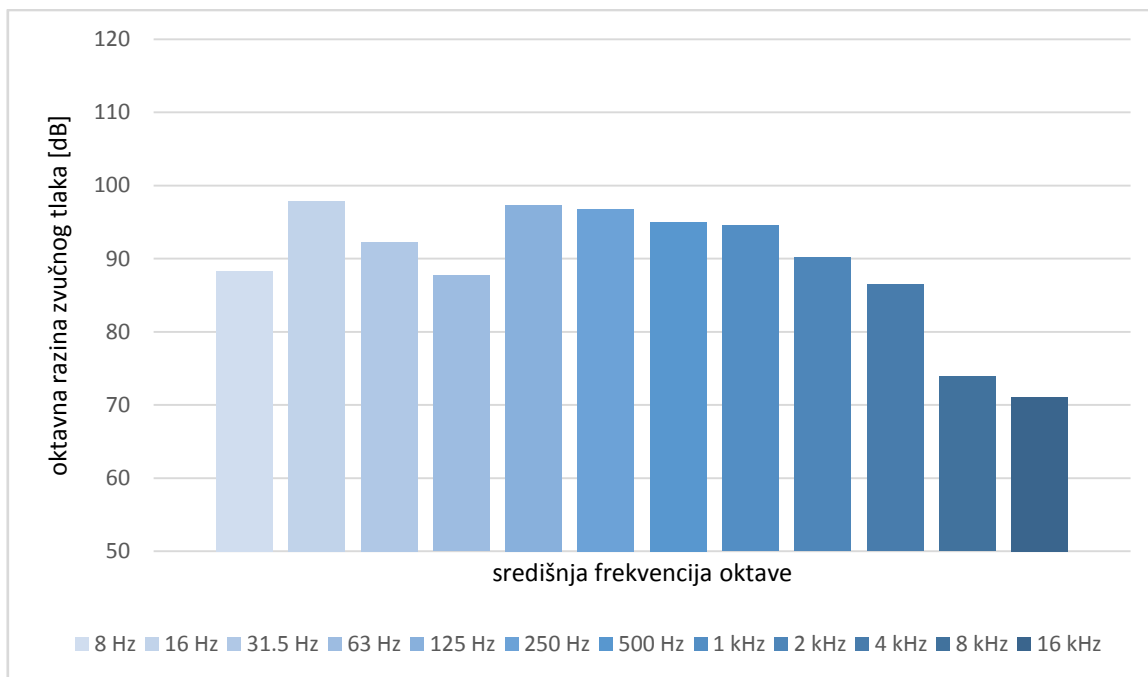
Grafikon 6. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja Ai - 9



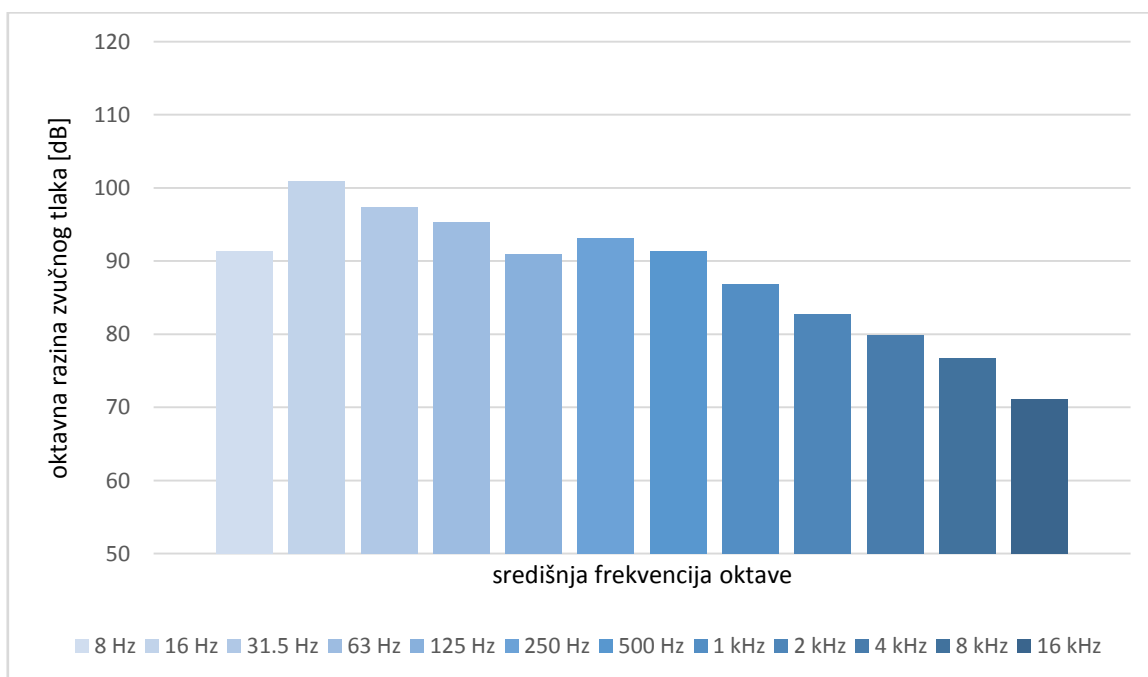
Grafikon 7. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja 1. motora



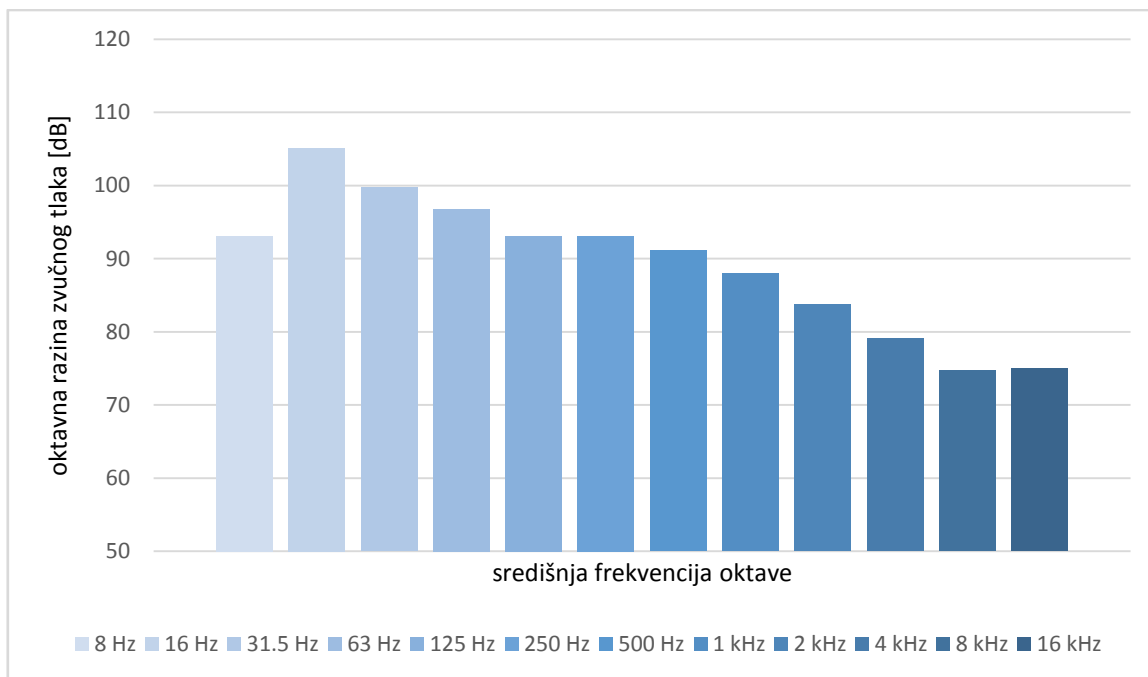
Grafikon 8. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja 2. motora



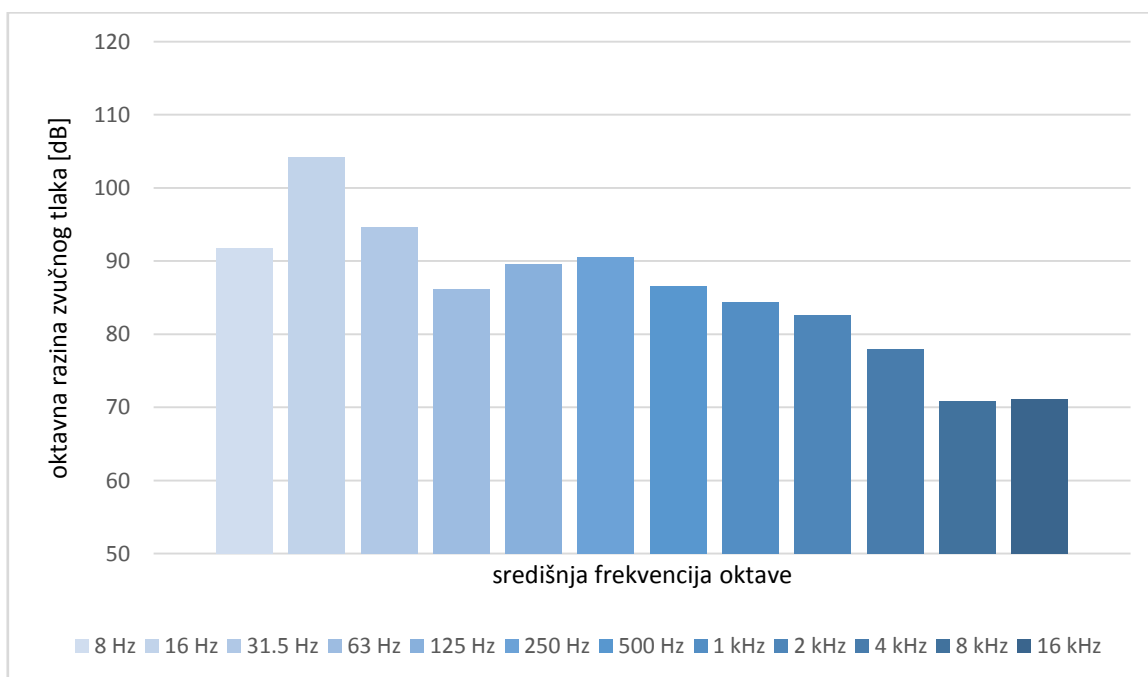
Grafikon 9. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja kompletne opreme na desnoj korekciji



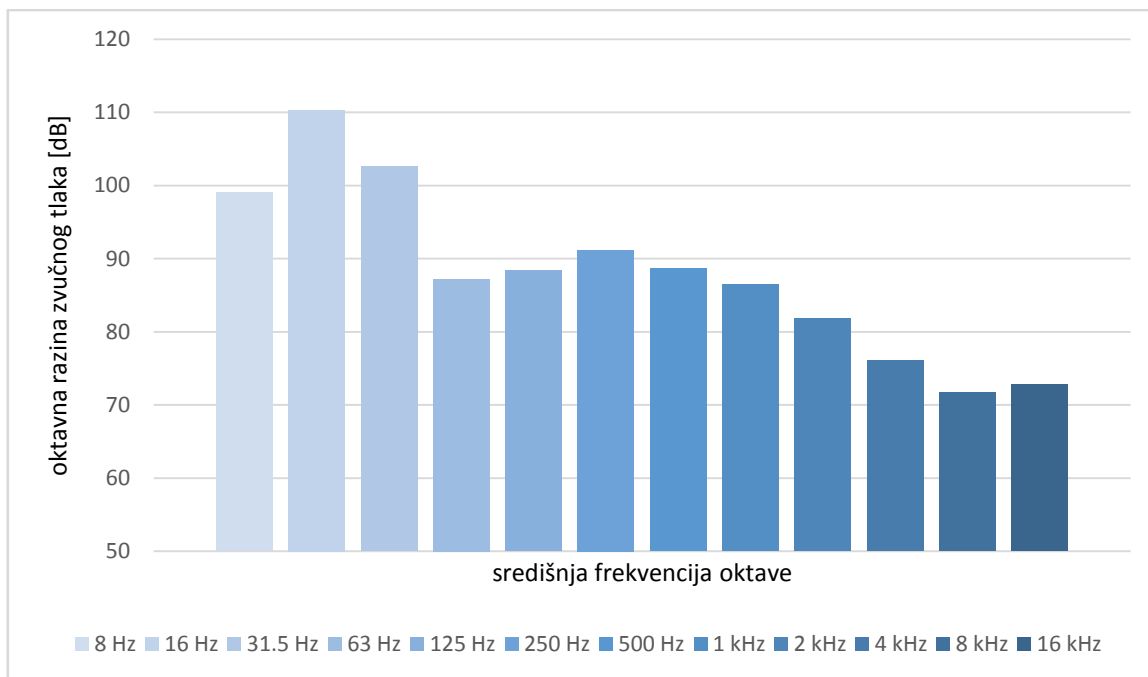
Grafikon 10. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 tijekom voženja



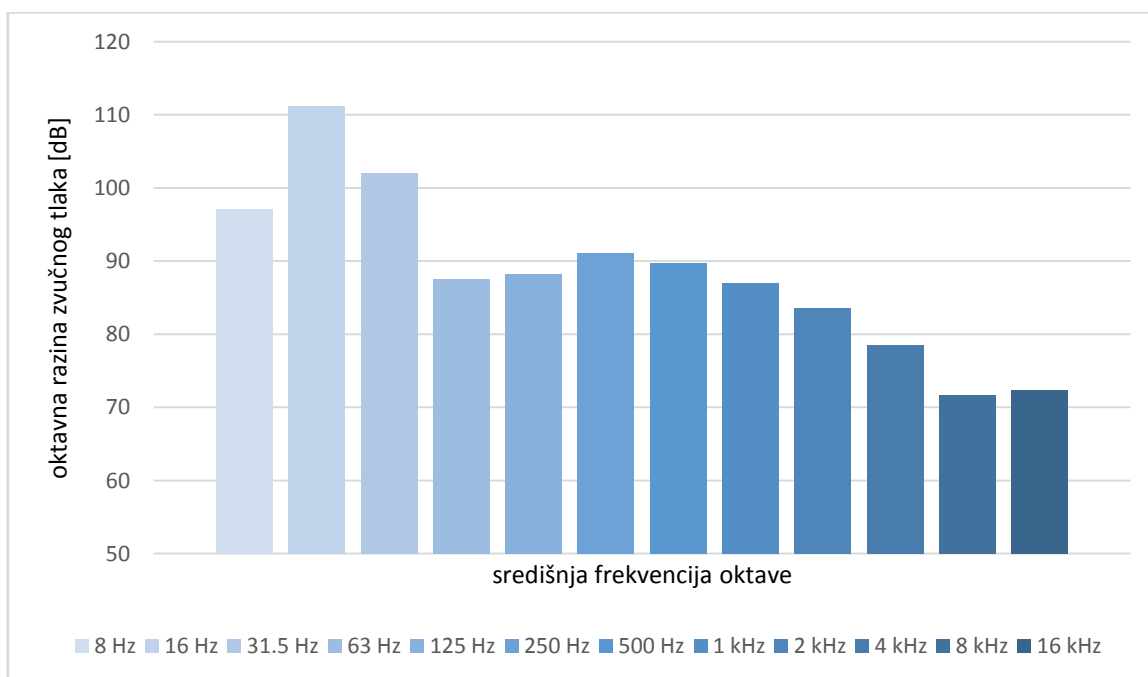
Grafikon 11. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – IGE, betonska površina, otvoreni svi otvori



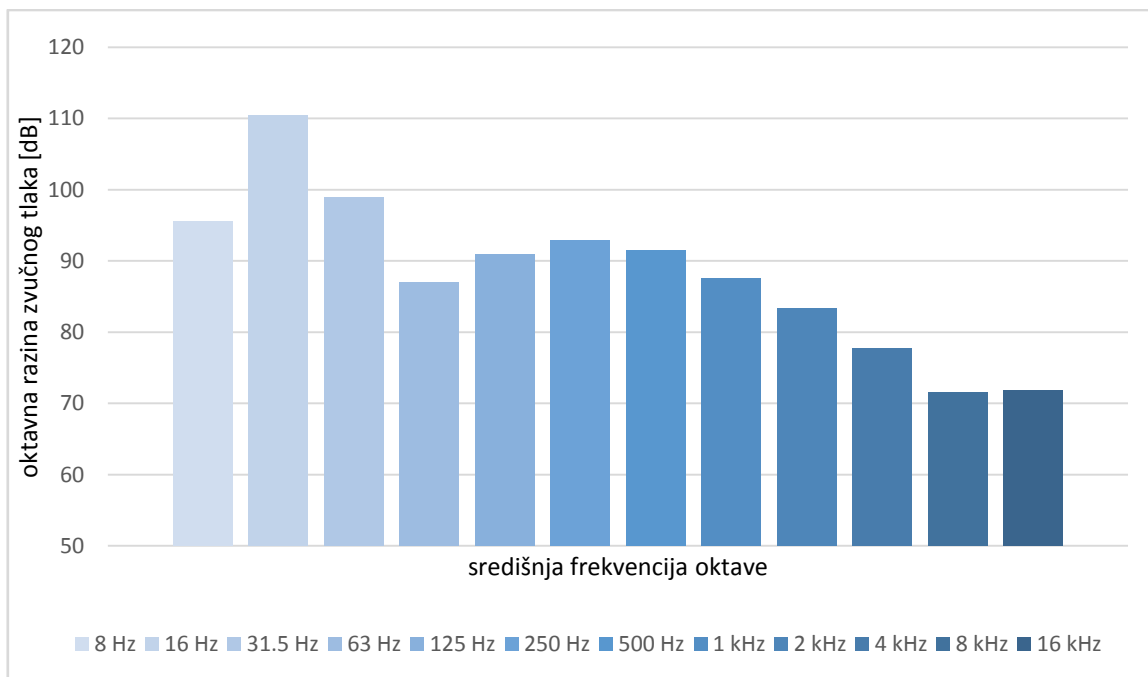
Grafikon 12. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – IGE, betonska površina, zatvoreni svi otvori



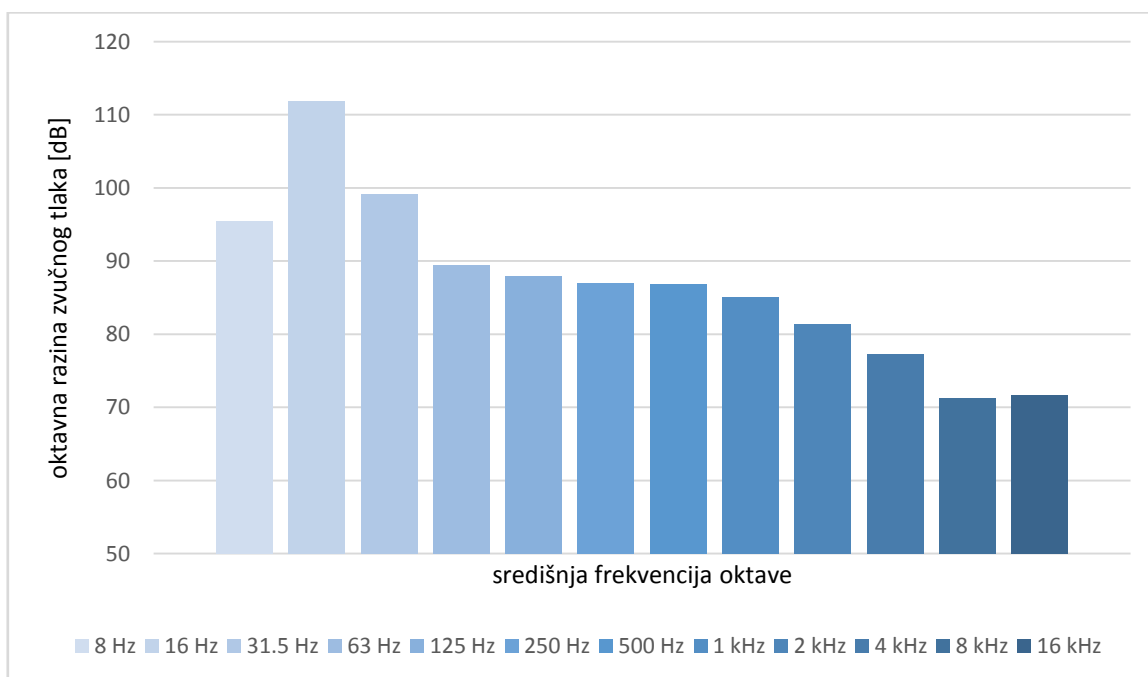
Grafikon 13. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, betonska površina, otvoreni svi otvori



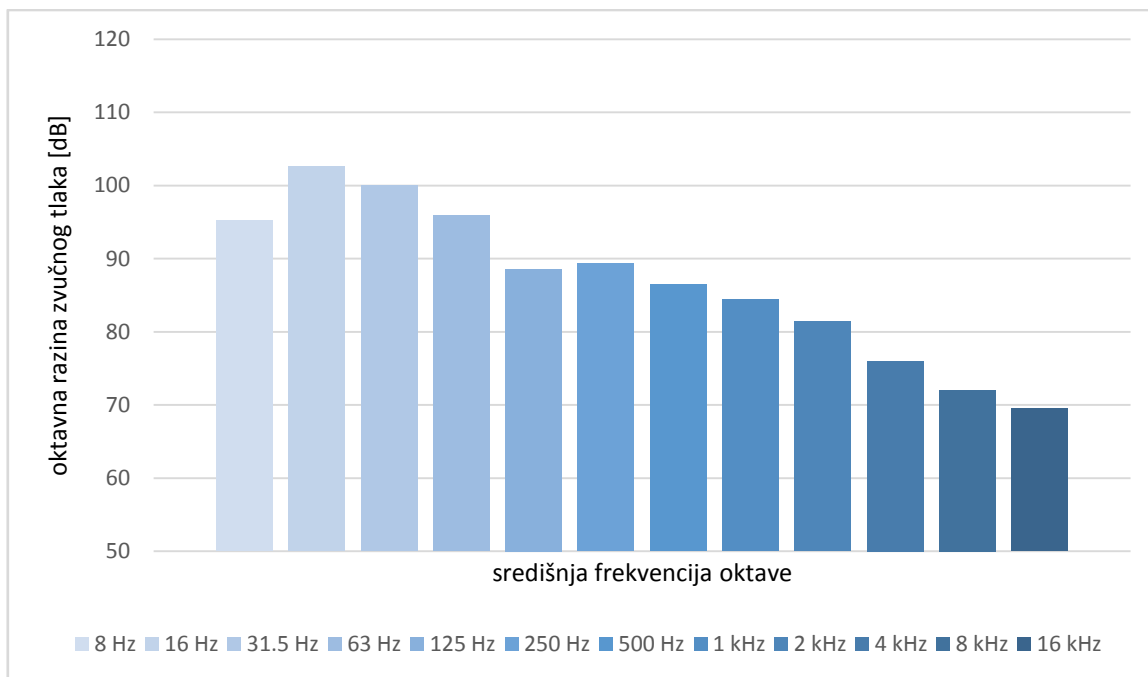
Grafikon 14. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, travnata površina, otvoreni svi otvori



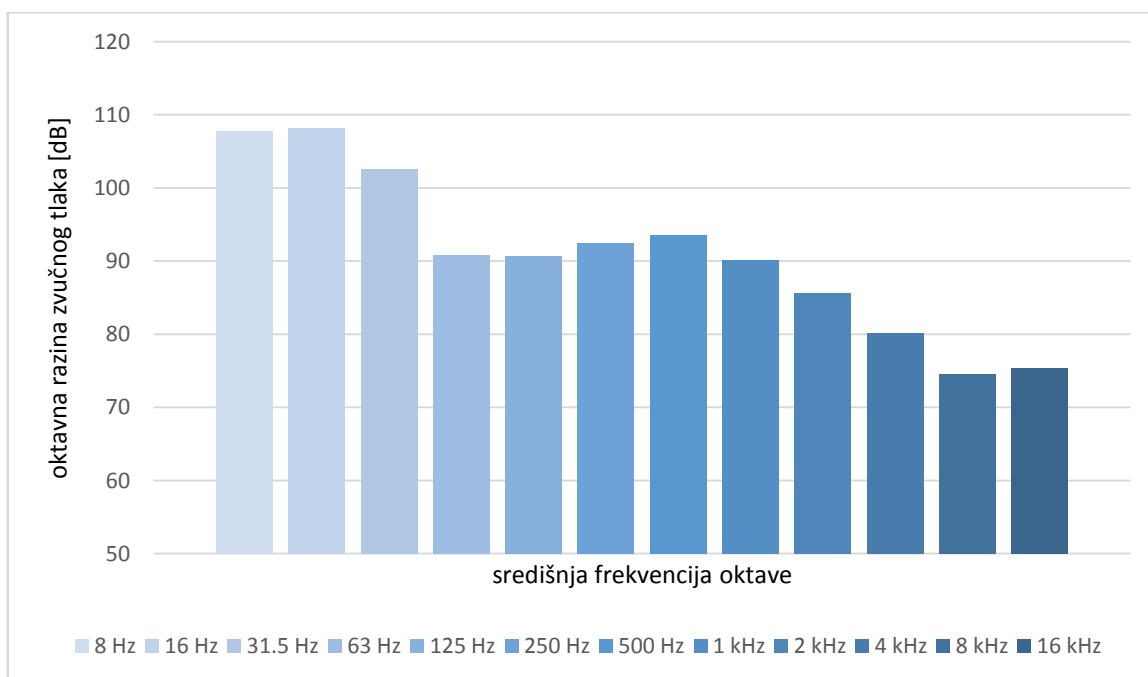
Grafikon 15. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, morska površina, otvoreni svi otvori



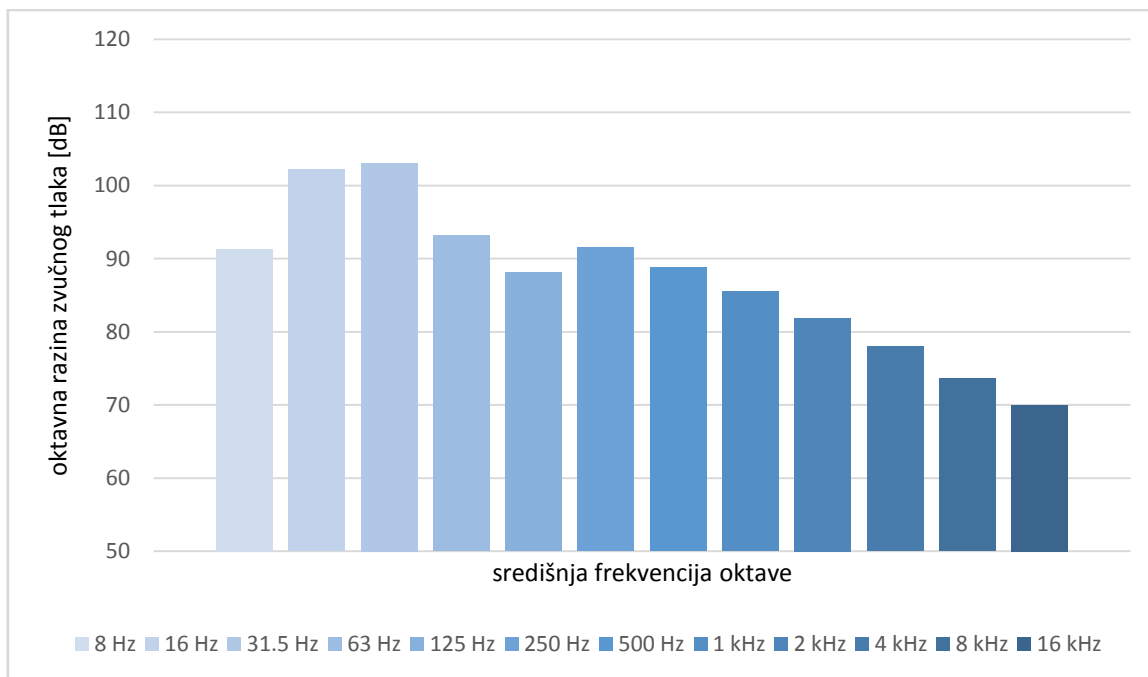
Grafikon 16. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod prelaska u progresivan let



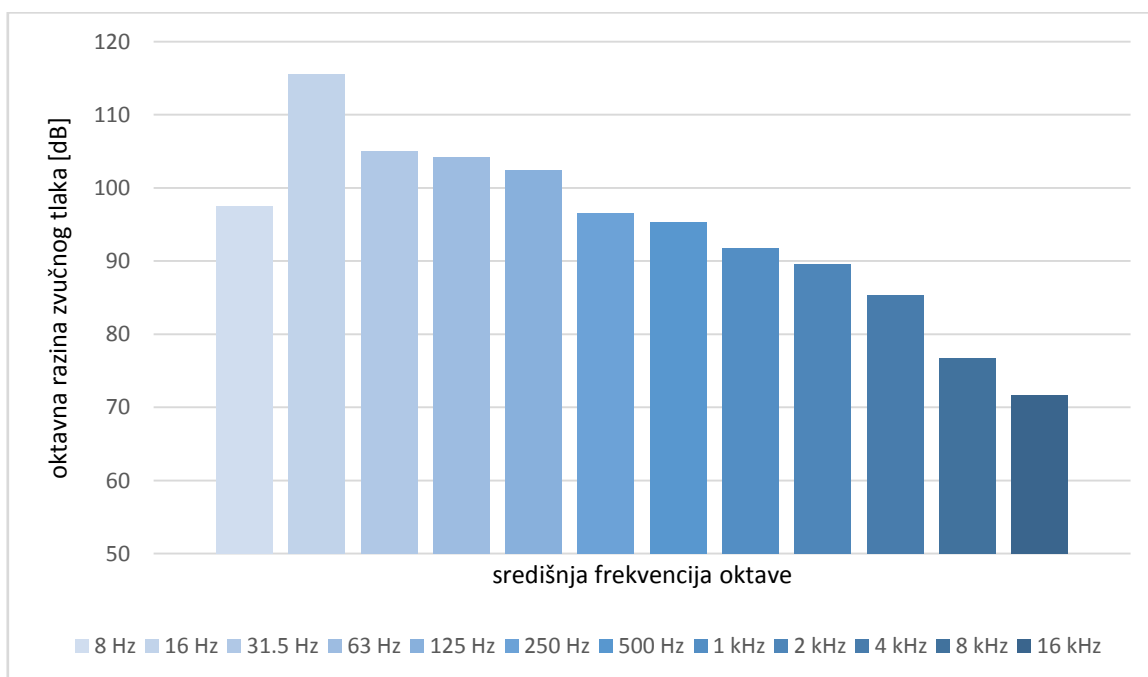
Grafikon 17. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u penjanju



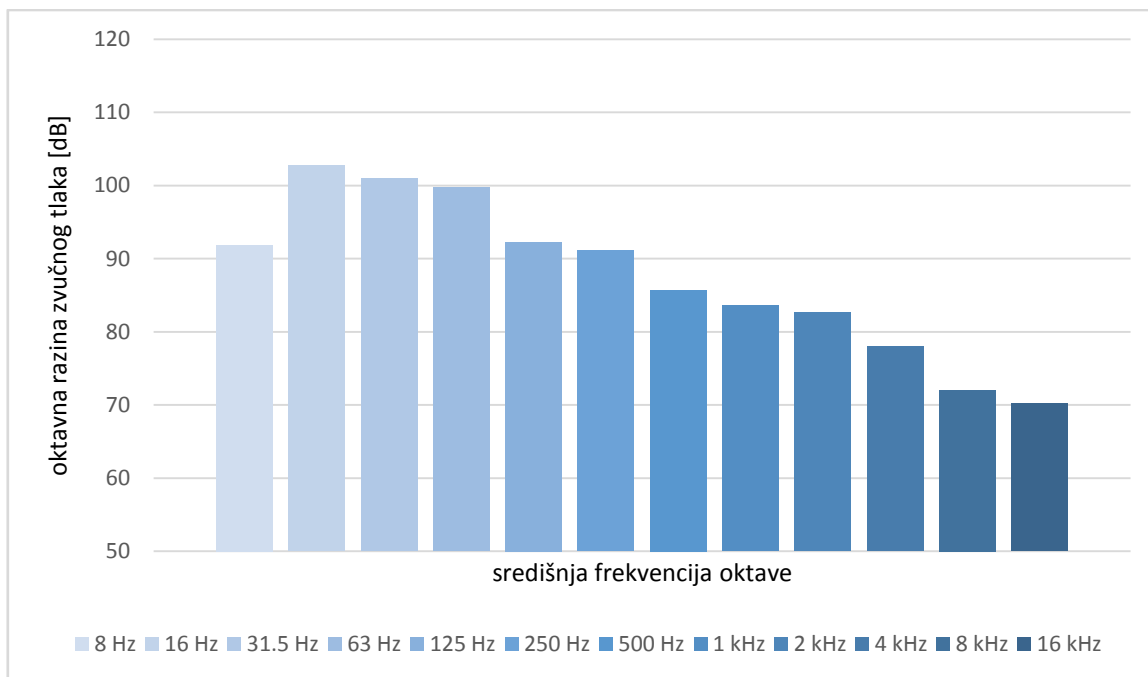
Grafikon 18. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod lebdjenja s 2000 kg vanjskog tereta



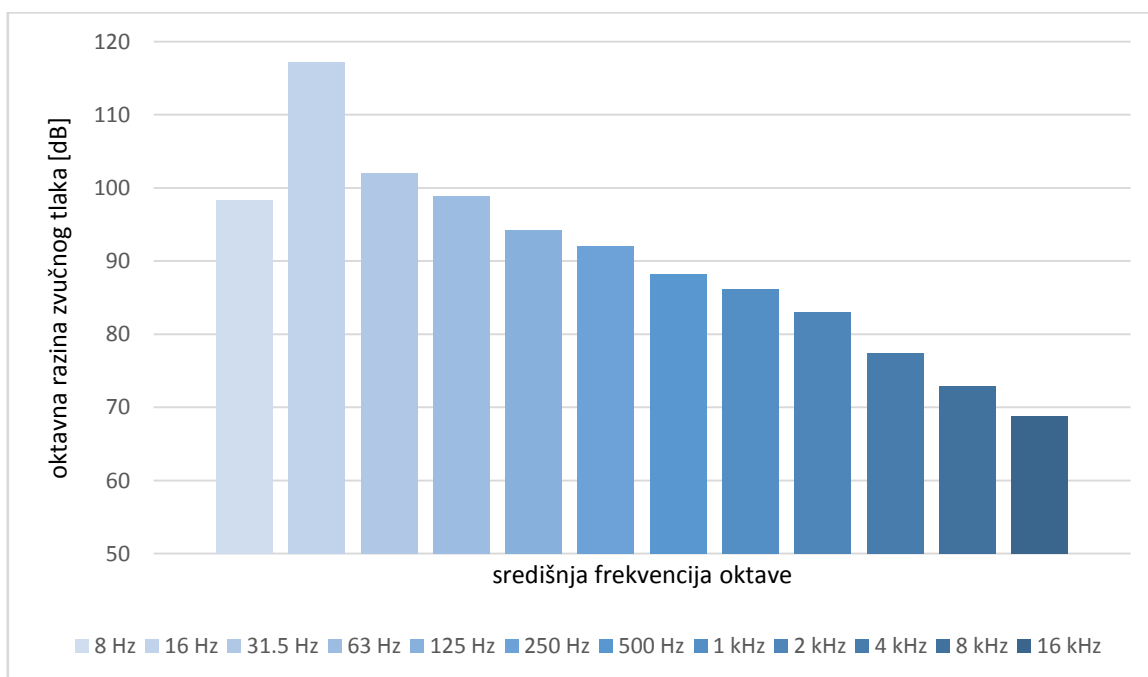
Grafikon 19. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod minimalne brzine 70 km/h



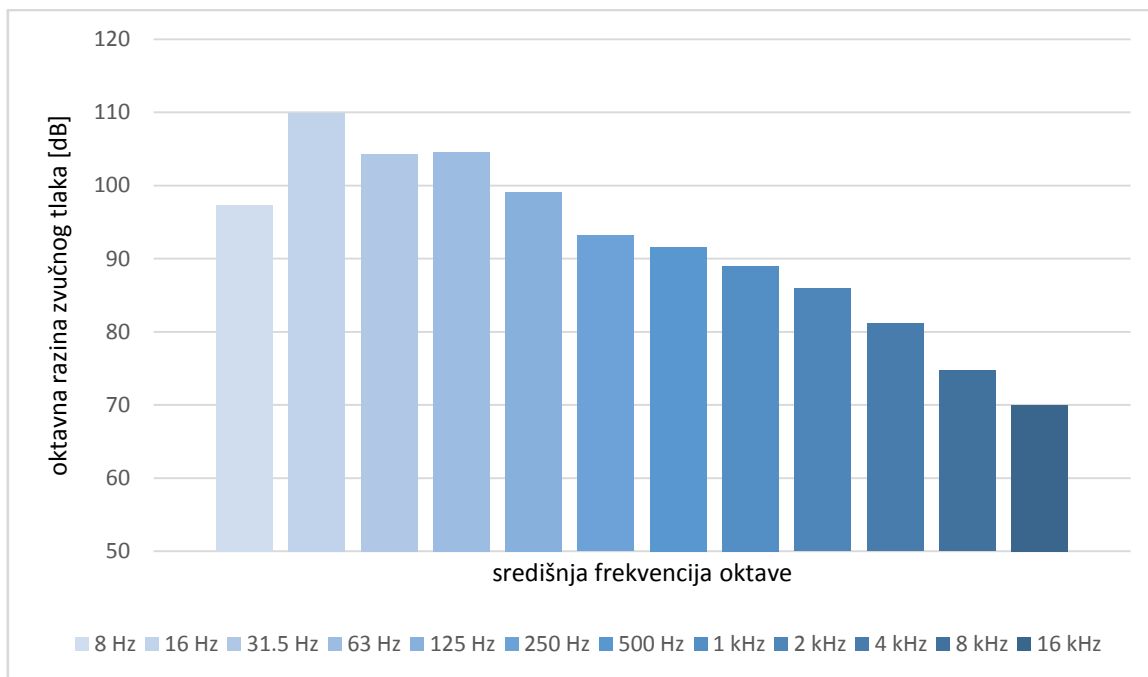
Grafikon 20. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod maksimalne brzine 250 km/h



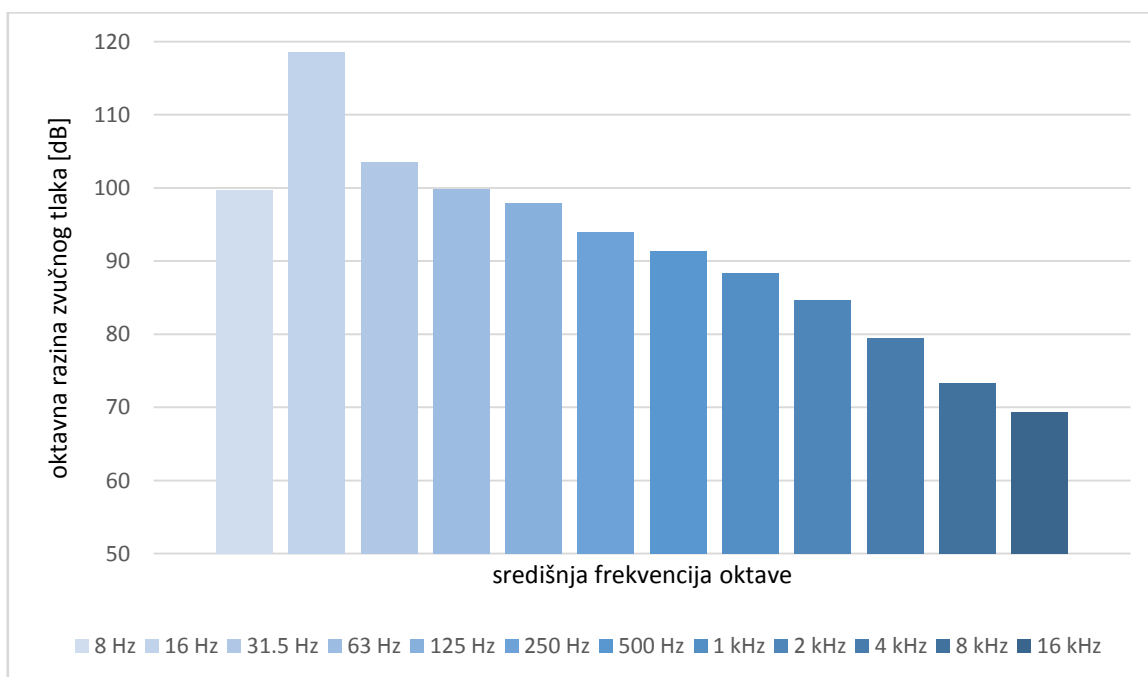
Grafikon 21. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod leta sa jednim motorom



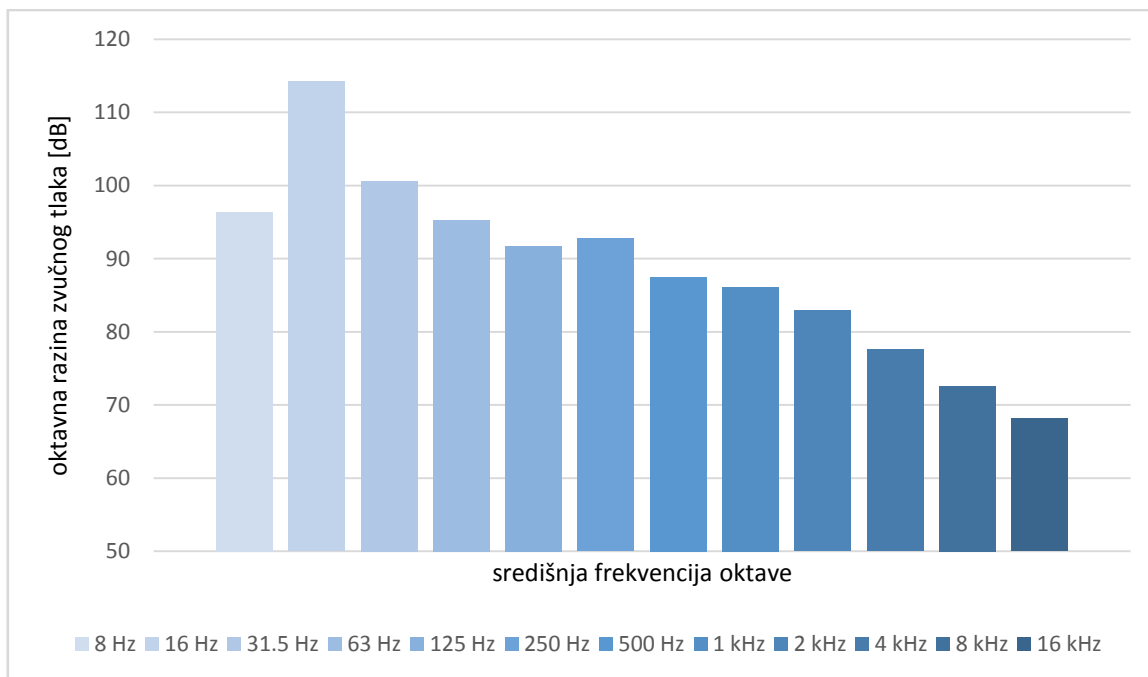
Grafikon 22. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 190 km/h



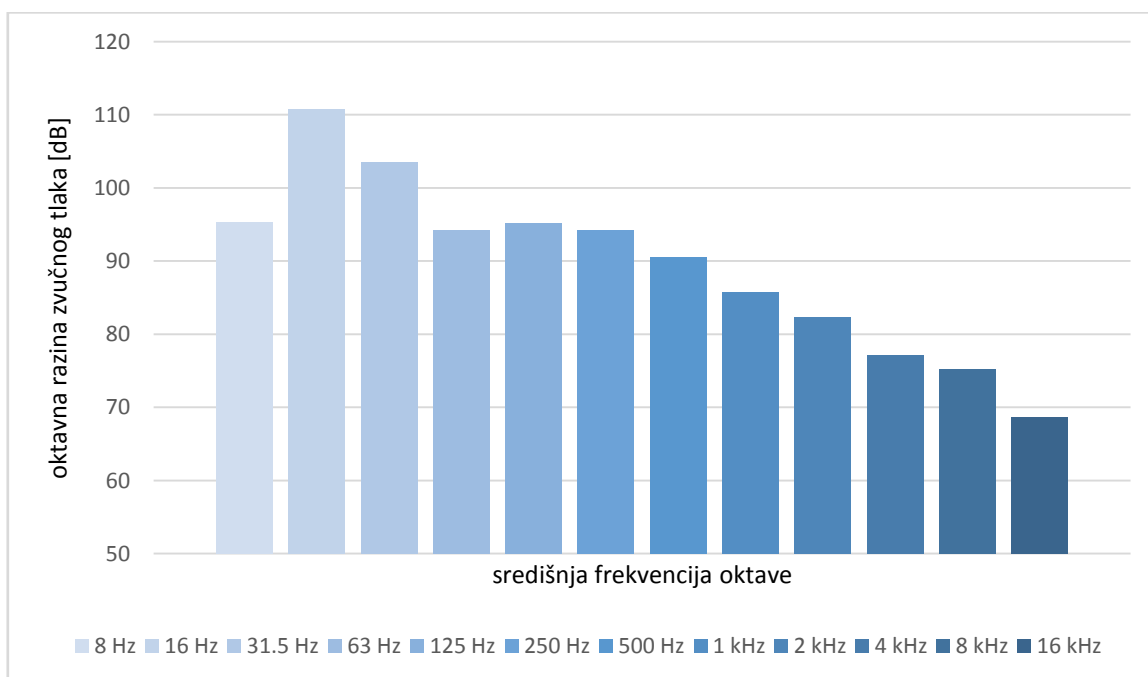
Grafikon 23. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 210 km/h



Grafikon 24. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 230 km/h



Grafikon 25. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u spuštanju



Grafikon 26. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u prilazu za slijetanje

7.2. SIL indeks

Razina ometanja govora (SIL - *Speech Interference Level*), određuje maksimalnu udaljenost na kojoj je moguć normalan razgovor. Prema ISO standardu SIL se dobiva mjerenjem u području oktava sa središnjim frekvencijama od 0,5 1, 2 i 4 kHz, a zatim se u posebnoj tablici očitava maksimalna udaljenost u metrima s koje je moguće slušanje govora uz zadovoljavajuću razumljivost. To su ujedno i frekvencije odgovorne za dobru razumljivost govora. [13]

$$SIL = \frac{L_{p500} + L_{p1000} + L_{p2000} + L_{p4000}}{4} \quad [dB] \quad (13)$$

Utjecaj buke na kvalitetu govornih komunikacija procjenjuje se usporedbom dobivenih rezultata izraženih u decibelima sa referentnim vrijednostima prikazanim u tablici koja prikazuje maksimalnu udaljenost govornika pri normalnim (A) i povišenim (B) glasom pri određenim SIL vrijednostima na kojima je razumljivost komunikacije još uvijek prihvatljiva (Tablica 12).

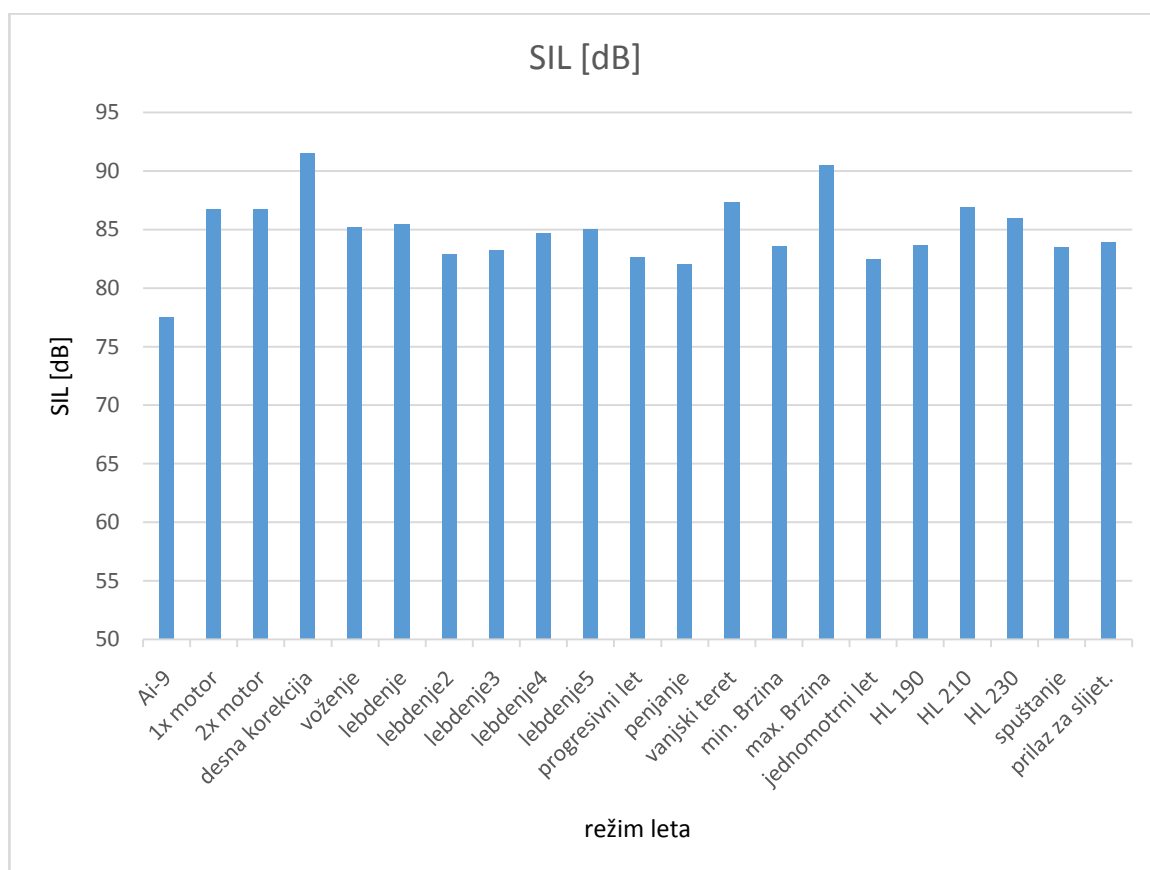
Tablica 12. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL [10]

SIL (dB)	A(m)	B(m)
35	7,5	15
40	4,2	8,4
45	2,3	4,6
50	1,3	2,6
55	0,75	1,5
60	0,42	0,85
65	0,25	0,5
70	0,13	0,26

Tablica 13. Primjeri maksimalno prihvatljivih SIL vrijednosti [10]

PROSTORIJE	MAKSIMALNI PRIHVATLJIVI SIL (dB)
UČIONICA	30
SALA ZA SASTANKE	35
URED	45
TELEFONSKA GOVORNICA	60
KABINA ZRAKOPLOVA	55-70

Prema formuli za izračun SIL-a (13) i po vrijednostima iz Tablice 11. dobivaju se sljedeći rezultati vrijednosti SIL za određene režime leta, prikazani na Grafikonu 27 i u Tablici 14:



Grafikon 27. Rezultati dobivenih vrijednosti SIL za helikopter Mi – 8 MTV-1 pri određenim režimima leta

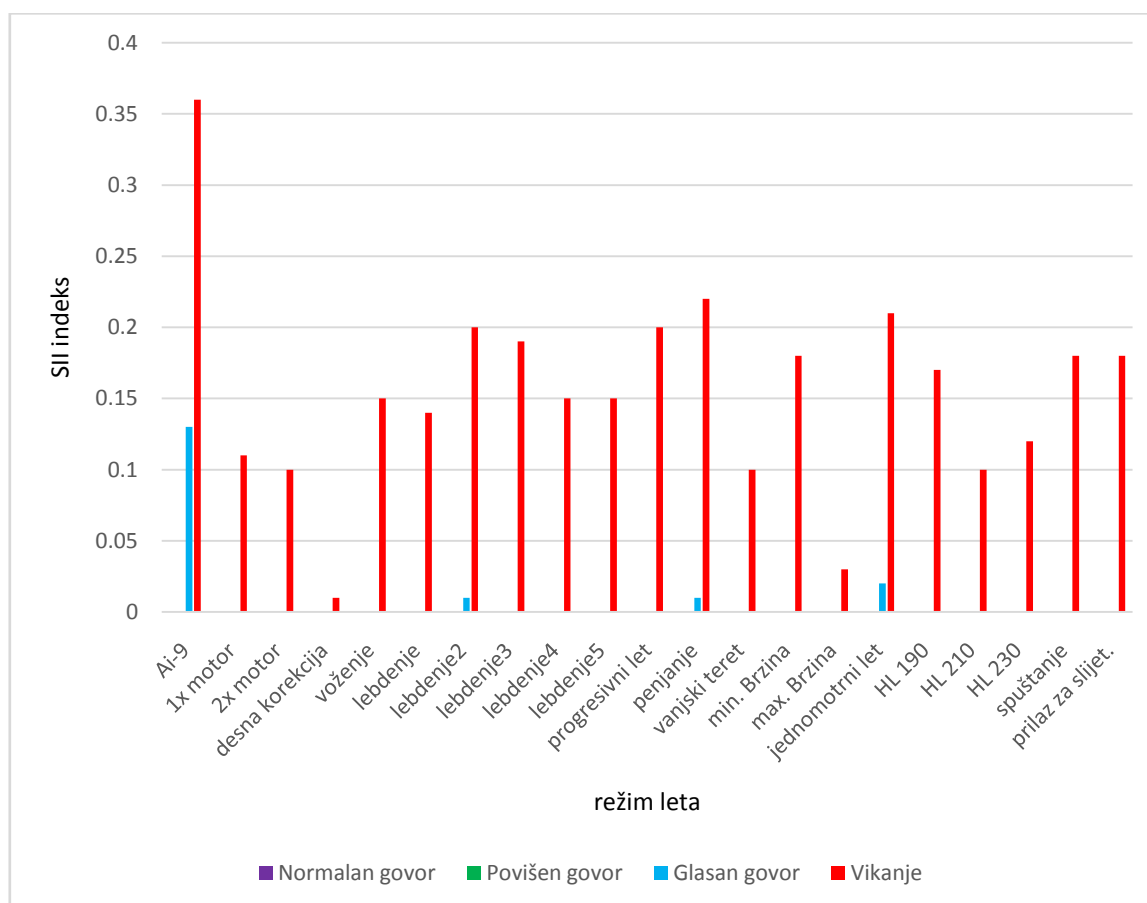
Tablica 14. Dobivene vrijednosti SIL za određene režime leta helikoptera Mi – 8 MTV-1

režim		SIL [dB]
1.1	Ai-9	77,525
1.2	1x motor	86,75
1.3	2x motor	86,775
1.4	desna korekcija	91,55
2.1	voženje	85,225
3.1	lebdjenje	85,475
3.2	lebdjenje2	82,9
3.3	lebdjenje3	83,275
3.4	lebdjenje4	84,7
3.5	lebdjenje5	85,05
4.1	progresivni let	82,675
5.1	penjanje	82,075
6.1	vanjski teret	87,35
7.1	min. Brzina	83,55
7.2	max. Brzina	90,525
8.1	jednomotorni let	82,475
9.1	HL 190	83,7
9.2	HL 210	86,9
9.3	HL 230	85,95
10.1	spuštanje	83,525
11.1	prilaz za slijetanje	83,9

7.3. SII indeks

SII – indeks razumljivosti govora je mjera u rasponu od 0-1 koja nam govori kolika je razumljivost govora pri određenoj buci. Ako je vrijednost između 0-0.45 onda je govor nerazumljiv, minimalna prihvatljiva vrijednost je 0.45, a sve od 0.75 pa do 1 se smatra odličnom razumljivosti govora.

Za izračun SII indeksa koristimo računalni program *SII Calculation 1.0[©] for ANSI S3.5 – 1997*. U program se unose vrijednosti unutarnje buke dobivene oktavnim metodom u rasponu od 0.25 kHz do 8 kHz te se odabire jedna od vrijednosti glasnoće govora (*normal, raised, loud, shouted*). Aktivacijom „tipke“ *calculate* dobiva se određena vrijednost SII indeksa.



Grafikon 28. Prikaz dobivenih vrijednosti SII iz računalnog programa pri određenim režimima leta helikoptera Mi – 8 MTV-1

Tablica 15. Dobivene vrijednosti SII iz računalnog programa za određene režime leta helikoptera Mi – 8 MTV-1

režim		SII			
		Normalan govor	Povišen govor	Glasan govor	Vikanje
1.1	Ai-9	0	0	0.13	0.36
1.2	1x motor	0	0	0	0.11
1.3	2x motor	0	0	0	0.10
1.4	desna korekcija	0	0	0	0.01
2.1	voženje	0	0	0	0.15
3.1	lebdjenje	0	0	0	0.14
3.2	lebdjenje2	0	0	0.01	0.20
3.3	lebdjenje3	0	0	0	0.19
3.4	lebdjenje4	0	0	0	0.15
3.5	lebdjenje5	0	0	0	0.15
4.1	progresivni let	0	0	0	0.20
5.1	penjanje	0	0	0.01	0.22
6.1	vanjski teret	0	0	0	0.10
7.1	min. Brzina	0	0	0	0.18
7.2	max. Brzina	0	0	0	0.03
8.1	jednomotorni let	0	0	0.02	0.21
9.1	HL 190	0	0	0	0.17
9.2	HL 210	0	0	0	0.10
9.3	HL 230	0	0	0	0.12
10.1	spuštanje	0	0	0	0.18
11.1	prilaz za slijetanje	0	0	0	0.18

8. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je rezultat ideje i subjektivnog dojma o prekomjernoj buci te o tome kako ista u velikoj mjeri utječe na posadu helikoptera Mi – 8 MTV-1. S obzirom da se radi o helikopterima ruske proizvodnje, uglavnom namijenjenima za vojne zadaće ili kao civilne inačice za zadaće u određenim ekstremnim uvjetima, podaci ili slična mjerenja ne postoje ili su nedostupna. Suradnjom Oružanih snaga Republike Hrvatske s Fakultetom prometnih znanosti otvorila se odlična prilika da se određene teme obrade u sklopu diplomskih radova. Mjerenja su nakon višemjesečnog planiranja i pripremanja izvršena na helikopteru Mi - 8 MTV-1 koji je stacioniran u vojarni Knez Trpimir u Divuljama. Rezultati pokazuju da je kabinska buka u svim režimima leta u prosjeku iznad 90 dBA, a najviše vrijednosti postižu se u režimima blizu graničnih vrijednosti kao što je opterećeni helikopter, let na maksimalnoj brzini ili u neposrednoj blizini podloge. Zbog same namjene helikoptera i zadanih zadaća može se zaključiti da je posada najvećim dijelom izložena maksimalnoj razini buke, kao što je npr. gašenje požara, gdje je kao vanjski teret prikazano protupožarno vjetro od 2200 litara, a helikopter izvodi složene manevre od skupljanja vode do požara i do 6 sati u istom danu kako bi bio što učinkovitiji. Kako dugotrajna izloženost buci razine veće od 80 dBA može uzrokovati oštećenje sluha i druge tjelesne poteškoće nastale kao posljedica ekstraauralnog djelovanja, piloti ovog tipa helikoptera mogu biti ugroženi bukom te je potrebna česta provjera zaštitne opreme za sluh, posebice za operativne letove tijekom sezone ljetnih mjeseci, kada je naprezanje pilota (psihičko i fizičko) na maksimalnoj razini. Također se preporuča da posada zrakoplova (kapetan, kopilot, tehničari letači) uz pilotske slušalice nosi i čepiće za uši kao dvostruko smanjenje buke unutar slušalica kako bi se dodatno osigurali od utjecaja buke, a gdje bi u tom slučaju bilo potrebno prilagoditi komunikaciju unutar helikoptera. Promatrajući rezultate SIL i SII indeksa može se nadalje zaključiti da komunikacija unutar kabine u bilo kojem režimu leta u slučaju otkaza mikrofona ne bi bila moguća normalnim govorom, povišenim govorom, glasnim govorom niti vikanjem te razumljivost govora ne bi bila prihvatljiva niti u jednom režimu leta koristeći izravan govor. U smanjenju utjecaja kabinske buke, općenito u zrakoplovstvu, može se učiniti još mnogo toga, od samog postavljanja zvučno-izolacijskog materijala unutar kabine do smanjenja razine buke na samom izvoru te postavljanje posebnih materijala za smanjenje vibracija. U Hrvatskoj praksi postoji primjer postavljanja zvučno-izolacijskog materijala unutar kabine, u

VIP varijanti na helikopteru Mi – 8 MTV-1, ali zbog pada istog te istrage koja je još u procesu ta analiza će ostati za neki drugi rad.

POPIS LITERATURE

1. Edited by Harvey H. Hubbard: *Aeroacoustics of flight vehicles, Volume 2: Noise control*, NASA Reference Publication 1258, Vol. 2, WRDC, Technical report 90-3052, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, 1991.
2. Radivoje Bošnjaković: *Redukcija buke*, ČGP Delo, TOZD Gospodarski Vestnik, Ljubljana, 1981.
3. Božidar Radanović: *Fizikalne štetnosti – Buka*, Visoka škola za sigurnost, IPROZ, Zagreb, 2003.
4. Stig Ingemansson, Hans Elvhammar: *Buka – zaštita od buke, načela i primjena*, prevedeno i prošireno izdanje kod ZIRS, Zagreb, 1995.
5. J. Golubić; *Promet i okoliš*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
6. Zakon o zaštiti od buke, pročišćeni tekst zakona, NN 30/09, 55/13, 153/13
7. Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu, NN 46/08
8. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, NN 145/04
9. Hrvatska norma: *Akustika – Mjerenje buke u zrakoplovima(ISO 5129:1987)*
10. Tino Bucak, Ernest Bazijanac, Biljana Juričić : *Correlation between SIL and SII in a light aircraft cabin during flight*, Proc. ICVS14, Cairns, Australia, 2007.
11. Jurica Ivošević: *Određivanje utjecaja unutarne buke zrakoplova na sposobnost pilota*, Doktorski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
12. Štimac Igor: *Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb*, Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
13. Živaljić D.: *Analiza unutarne kabinske buke zrakoplova CL-415*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
14. <http://www.informatika.buzdo.com/pojmovi/kino-1.htm> (veljača 2016.)
15. Royal Netherlands Air Force: *Evaluation of HGU-56/P Flight Helmet*
16. Technical Datasheet: *Peltor™ Optime™ II*
17. Dokumentacija Eskadrile transportnih helikoptera Divulje
18. <http://www.gentexcorp.com/shopaviationhelmets/aircrew-rotary-wing/hgu-56-p-rotary-wing-aircrew-helmet-system> (ožujak 2016.)
19. <http://www.conrad.hr/Za%20titne-slu%20alice-Peltort-Optime-II-H520A-407-GQ.htm?websale8=conrad-hr&pi=832864> (ožujak 2016.)
20. http://prodaja.prosco.hr/product_id=412 (ožujak 2016.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Čisti ton [2]

Slika 2. Glazbeni ton [2]

Slika 3. Šum [2]

Slika 4. Slušno područje ljudskog uha [3]

Slika 5. Ljudsko uho – sustav slušnog mehanizma čovjeka [14]

Slika 6. Audiogram normalnog ljudskog uha [13]

Slika 7. Osobni audiogram s inicijalnog liječničkog pregleda iz 2005. g. koji pokazuje očuvan sluh

Slika 8. Osobni audiogram sa redovitog liječničkog pregleda iz 2016. g. koji pokazuje oštećenje sluha

Slika 9. Osnovne komponente buke zrakoplova [12]

Slika 10. Utjecaj putanje leta na impulsnu buku lopatica [1]

Slika 11. Izvori buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 [1, 17]

Slika 12. Izvori buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 [1, 17]

Slika 13. Motor TV3-117VM i Glavni reduktor VR-14 [17]

Slika 14. Ai-9V starter-generator [17]

Slika 15. Zračni starter CB-78BA [17]

Slika 16. KO-50 [17]

Slika 17. Prigušenje buke ušnim štitnicima [2]

Slika 18. Kaciga Gentex HGU-56/P [18]

Slika 19. Vrijednosti prigušenja za kacigu Gentex HGU-56/P [15]

Slika 20. Slušalice GSŠ-A-18

Slika 21. Peltor – Optime 2 [19]

Slika 22. 3M čepići za uši [20]

Slika 23. Analizator zvuka nor 140 [13] i mjerenje u letu

Slika 24. Helikopter Mi – 8 MTV-1 na kojem je izvršeno mjerenje

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti zvučne snaga nekih izvora [2]

Tablica 2. Izvori buke ovisno o tipu zrakoplova [5]

Tablica 3. Izloženost buci ispod Gentex HGU-56/P kacige u putničkoj kabini helikoptera CH - 47 Chinook pri buci od 111 dBA, za različite opcije namještenosti i opremljenosti kacige [15]

Tablica 4. Vrijednosti prigušenja za zaštitne slušalice - Optime II Headband Version [16]

Tablica 5. Podaci o mjerenju

Tablica 6. Režimi leta

Tablica 7. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (ekvivalentna razina)

Tablica 8. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost)

Tablica 9. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (razina izloženosti zvuku)

Tablica 10. Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (vršne vrijednosti po režimima)

Tablica 11. Rezultati oktavnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u svim režimima leta – srednja vrijednost

Tablica 12. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL [10]

Tablica 13. Primjeri maksimalno prihvatljivih SIL vrijednosti [10]

Tablica 14. Dobivene vrijednosti SIL za određene režime leta helikoptera Mi – 8 MTV-1

Tablica 15. Dobivene vrijednosti SII iz računalnog programa za određene režime leta helikoptera Mi – 8 MTV-1

POPIS GRAFOVA

Grafikon 1. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - ekvivalentna razina pri određenim režimima leta. (*A-weighted Integrated Averaged SPL (LAeq)*)

Grafikon 2. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta. (*A-weighted maximum /minimum SPL LAFmax/LAFmin*)

Grafikon 3. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta. (*A-weighted Sound Exposure Level (LAE)*)

Grafikon 4. Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 A-ponderiranom metodom - vršne vrijednosti pri određenim režimima leta. (*LApeak*)

Grafikon 5. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u svim režimima leta

Grafikon 6. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja Ai - 9

Grafikon 7. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja 1. motora

Grafikon 8. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja 2. motora

Grafikon 9. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 nakon pokretanja kompletne opreme na desnoj korekciji

Grafikon 10. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 tijekom voženja

Grafikon 11. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – IGE, betonska površina, otvoreni svi otvori

Grafikon 12. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – IGE, betonska površina, zatvoreni svi otvori

Grafikon 13. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, betonska površina, otvoreni svi otvori

Grafikon 14. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, travnata površina, otvoreni svi otvori

Grafikon 15. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u lebdjenju – OGE, morska površina, otvoreni svi otvori

Grafikon 16. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod prelaska u progresivan let

Grafikon 17. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u penjanju

Grafikon 18. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod lebdjenja sa 2000 kg vanjskog tereta

Grafikon 19. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod minimalne brzine 70 km/h

Grafikon 20. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod maksimalne brzine 250 km/h

Grafikon 21. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod leta sa jednim motorom

Grafikon 22. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 190 km/h

Grafikon 23. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 210 km/h

Grafikon 24. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 kod horizontalnog leta - brzina 230 km/h

Grafikon 25. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u spuštanju

Grafikon 26. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke helikoptera Mi – 8 MTV-1 u prilazu za slijetanje

Grafikon 27. Rezultati dobivenih vrijednosti SIL za helikopter Mi – 8 MTV-1 pri određenim režimima leta

Grafikon 28. Prikaz dobivenih vrijednosti SII iz računalnog programa pri određenim režimima leta helikoptera Mi – 8 MTV-1